



TUGAS AKHIR - TE 141599

***ECONOMIC AND EMISSION DISPATCH PADA SISTEM
TRANSMISI JAWA BALI 500 KV BERDASARKAN RUPTL
2015-2024 MENGGUNAKAN MODIFIED ARTIFICIAL BEE
COLONY ALGORITHM***

Dio Adya Pratama
NRP 2214105051

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE 141599

***ECONOMIC AND EMISSION DISPATCH FOR 500 KV JAWA
BALI TRANSMISSION SYSTEM BASED ON RUPTL 2015-2024
USING MODIFIED ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM***

Dio Adya Pratama
NRP 2214105051

Advisor
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M. Sc, Ph.D
Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

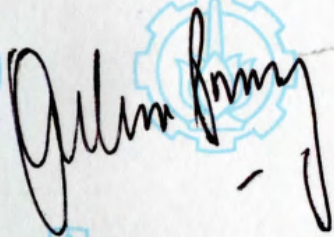
***ECONOMIC AND EMISSION DISPATCH PADA SISTEM
TRANSMISI JAWA BALI 500 KV BERDASARKAN
RUPTL 2015-2024 MENGGUNAKAN MODIFIED
ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
NIP. 194907151974121001

Dosen Pembimbing II



Ir. Ni Ketut Aryani, MT.
NIP. 196509011991032002



***ECONOMIC AND EMISSION DISPATCH PADA
SISTEM TRANSMISI JAWA BALI 500 KV
BERDASARKAN RUPTL 2015-2024
MENGUNAKAN MODIFIED ARTIFICIAL BEE
COLONY ALGORITHM***

Dio Adya Pratama
2214105051

Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

ABSTRAK

Biaya bahan bakar sebuah pembangkit termal merupakan fungsi beban pembangkit tersebut. Pada unit pembangkit termal penambahan beban akan mendorong penambahan jumlah bahan bakar per satuan waktu dan pada akhirnya akan meningkatkan penambahan biaya per satuan waktu. Selain itu, beban listrik merupakan fungsi biaya pembangkitan, maka perlu dicari solusi untuk mengoperasikan unit-unit pembangkit secara optimum dengan menekan biaya bahan bakar seminimum mungkin namun tetap memperhatikan constraint operasional. Selain itu, tiap pembangkit termal yang beroperasi menghasilkan emisi seperti Nitrogen oksida (NO_x). Dengan demikian perlu adanya minimalisasi emisi yang dihasilkan oleh tiap pembangkit. Penggabungan kedua permasalahan di atas disebut dengan *economic and emission dispatch*. Pada tugas akhir ini menggunakan kasus kelistrikan pada sistem transmisi jawa bali 500 kV. Pada penelitian ini diaplikasikan *Modified Artificial Bee Colony Algorithm (MABCA)* untuk menghitung *economic and emission dispatch*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan faktor pembobotan dan diketahui bahwa Pada kondisi $W1=1$ dan $W2=0$, maka biaya pembangkitan memiliki nilai yang paling murah namun memiliki emisi yang paling tinggi. Jika $W1=0.5$ dan $W2=0.5$, maka biaya pembangkitan dan emisi akan sama-sama diprioritaskan. Jika $W1=0$ dan $W2=1$, maka biaya pembangkitan akan menyentuh harga termahal, namun memiliki emisi yang minimum.

Kata Kunci : *Economic Dispatch, Emission, Equality, Inequality*

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

ECONOMIC AND EMISSION DISPATCH FOR 500 KV JAWA BALI TRANSMISSION SYSTEM BASED ON RUPTL 2015-2024 USING MODIFIED ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

Dio Adya Pratama
2214105051

1st Advisor : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
2nd Advisor : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

ABSTRACT

Thermal unit fuel cost is a representation from generator load function itself. The increasing of load in thermal units will stimulate the increasing of fuel needed and fuel cost. Furthermore, electrical load is the representation from generation cost function, then the solution is needed to operate each thermal unit optimally by pressing the fuel cost as minimum as possible but still obey the operational constraint. Moreover, each operating thermal unit produces emission like nitrogen oxides (NO_x). Therefore, the emission produces must be decreased. Both Problem above generally named as Combined Economic and Emission Dispatch. This project apply 500 kV Jawa Bali transmission study case. In this research, Modified Artificial Bee Colony Algorithm is applied for solving economic and emission dispatch problem. Simulation will be applied by using weighting factor. When $W1=1$ and $W2=0$, total fuel cost reaches the cheapest prize while the emission produced is high. When $W1=0.5$ and $W2=0.5$, both fuel cost and emission are considered as 50:50. When $W1=0$ and $W2=1$, fuel cost reaches the highest prize while the emission produced is low.

Key word: Economic Dispatch, Emission, Equality, Inequality

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Laporan	4
1.7 Relevansi	5

BAB II *ECONOMIC AND EMISSION DISPATCH*

2.1 Pengertian Sistem Tenaga Listrik	7
2.2 Karakteristik Pembangkit Listrik	8
2.3 Optimasi Pembangkit Listrik	9
2.4 Unit Pembangkit <i>Thermal</i>	10
2.5 <i>Economic Dispatch</i> pada Unit Pembangkit <i>Thermal</i> dengan Mengabaikan Rugi-rugi Transmisi	13
2.6 <i>Emission Dispatch</i>	14
2.7 <i>Combined Economic and Emission Dispatch</i>	15

BAB III *ECONOMIC AND EMISSION DISPATCH* MENGGUNAKAN ALGORITMA *MODIFIED ARTIFICIAL BEE COLONY*

3.1 Penerapan Algoritma <i>Modified Artificial Bee Colony</i>	17
3.1.1 Inisialisasi Awal MABCA	19
3.1.1.1 Sistem IEEE 26 Bus	19
3.1.1.2 Sistem Jamali 2021	20
3.1.1.3 Pemilihan Kandidat Solusi yang Sesuai	22
3.1.2 Penentuan Biaya Pembangkitan Total	23
3.1.3 <i>Update</i> Sumber Makanan Lebah	23

3.1.4 Hasil Biaya Total	24
BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS	
4.1 Pengujian Metode <i>Modified Artificial Bee Colony Algorithm</i>	25
4.1.1 Pengujian Tanpa Mempertimbangkan Emisi	25
4.1.2 Pengujian Dengan Mempertimbangkan Emisi	26
4.2 Data Pembangkit Sistem 500 kV Jawa Bali 2021	27
4.3 Simulasi <i>Modified Artificial Bee Colony</i> pada <i>Economic Emission Dispatch</i>	28
4.3.1 Hasil Simulasi	28
4.3.1.1 Kasus 1 ($W1=1$ dan $W2=0$).....	28
4.3.1.2 Kasus 2 ($W1=0.75$ dan $W2=0.25$).....	31
4.3.1.3 Kasus 3 ($W1=0.5$ dan $W2=0.5$).....	33
4.3.1.4 Kasus 4 ($W1=0.25$ dan $W2=0.75$).....	35
4.3.1.5 Kasus 5 ($W1=0$ dan $W2=1$).....	37
4.4 Hubungan Biaya Pembangkitan dan Emisi.....	39
4.4.1 Hubungan Biaya Pembangkitan dan Emisi Pada Permasalahan CEED Menggunakan Metode <i>Modified Artificial Bee Colony Algorithm</i>	39
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	47
RIWAYAT HIDUP	67

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Fungsi Biaya dan Batasan Unit Pembangkit Sistem IEEE 26 Bus	19
Tabel 3.2	Data Fungsi Emisi Tiap Unit Pembangkit Sistem IEEE 26 Bus	20
Tabel 3.3	Data Fungsi Biaya Pembangkit Sistem Jamali 2021	20
Tabel 3.4	Data Fungsi Emisi Pembangkit Sistem Jamali 2021	21
Tabel 3.5	Daya Minimal dan Maksimal Pembangkit Sistem Jamali 2021	22
Tabel 4.1	Perbandingan Biaya Pembangkitan Tanpa Mempertimbangkan Emisi	25
Tabel 4.2	Perbandingan Biaya Pembangkitan Dengan Mempertimbangkan Emisi	26
Tabel 4.3	Data beban pembangkitan Sistem 500 kV Jawa Bali 2021	28
Tabel 4.4	Parameter <i>Modified Artificial Bee Colony Algorithm</i> ...	28
Tabel 4.5	Total Biaya Pada Pukul 13.00 Kasus 1	29
Tabel 4.6	Total Emisi Pada Pukul 13.00 Kasus 1	29
Tabel 4.7	Total Biaya Pada Pukul 19.00 Kasus 1	30
Tabel 4.8	Total Emisi Pada Pukul 19.00 Kasus 1	30
Tabel 4.9	Total Biaya Pada Pukul 13.00 Kasus 2	31
Tabel 4.10	Total Emisi Pada Pukul 13.00 Kasus 2	31
Tabel 4.11	Total Biaya Pada Pukul 19.00 Kasus 2	32
Tabel 4.12	Total Emisi Pada Pukul 19.00 Kasus 2	32
Tabel 4.13	Total Biaya Pada Pukul 13.00 Kasus 3	33
Tabel 4.14	Total Emisi Pada Pukul 13.00 Kasus 3	33
Tabel 4.15	Total Biaya Pada Pukul 19.00 Kasus 3	34
Tabel 4.16	Total Emisi Pada Pukul 19.00 Kasus 3	34
Tabel 4.17	Total Biaya Pada Pukul 13.00 Kasus 4	35
Tabel 4.18	Total Emisi Pada Pukul 13.00 Kasus 4	35
Tabel 4.19	Total Biaya Pada Pukul 19.00 Kasus 4	36
Tabel 4.20	Total Emisi Pada Pukul 19.00 Kasus 4	36
Tabel 4.21	Total Biaya Pada Pukul 13.00 Kasus 5	37
Tabel 4.22	Total Emisi Pada Pukul 13.00 Kasus 5	37
Tabel 4.23	Total Biaya Pada Pukul 19.00 Kasus 5	38
Tabel 4.24	Total Emisi Pada Pukul 19.00 Kasus 5	38
Tabel 4.25	Total Biaya dan Total Emisi Rata-Rata pada pukul 13.00 menggunakan MABCA	39

Tabel 4.26	Total Biaya dan Total Emisi Rata-Rata pada pukul 19.00 menggunakan MABCA	39
Tabel 4.27	Total Biaya dan Total Emisi Rata-Rata pada pukul 13.00 menggunakan ABCA	39
Tabel 4.28	Total Biaya dan Total Emisi Rata-Rata pada pukul 19.00 menggunakan ABCA	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem Tenaga Listrik.....	7
Gambar 2.2	Sistem Unit Pembangkit <i>Thermal</i>	10
Gambar 2.3	Kurva karakteristik Input – Output Unit <i>Thermal</i>	11
Gambar 2.4	Kurva Karakteristik Kenaikan Biaya/Panas Unit <i>Thermal</i>	12
Gambar 2.5	Kurva Karakteristik Efisiensi terhadap Output.....	12
Gambar 2.6	Pembangkit Terhubung Pada 1 Bus	13
Gambar 3.1	Diagram Alir Penyelesaian <i>Economic Dispatch</i> Menggunakan MABCA	18
Gambar 4.1	<i>Single Line Diagram</i> Sistem 500 kV Jawa Bali 2021	27
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Total Biaya Pembangkitan dan Emisi rata-rata pada pukul 13.00 Menggunakan MABCA.....	40
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Total Biaya Pembangkitan dan Emisi rata-rata pada pukul 19.00 Menggunakan MABCA.....	41
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Total Biaya Pembangkitan dan Emisi rata-rata pada pukul 13.00 Menggunakan ABCA	41
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Total Biaya Pembangkitan dan Emisi rata-rata pada pukul 19.00 Menggunakan ABCA	42

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengoperasian suatu pembangkit sangat tergantung pada bahan bakar, dengan demikian hal tersebut yang perlu mendapatkan perhatian khusus, karena sebagian besar biaya operasi yang dikeluarkan adalah untuk keperluan bahan bakar. Biaya bahan bakar sebuah unit pembangkit merupakan fungsi beban suatu pembangkit. Kemampuan memikul beban menentukan keandalan sistem energi listrik, sehingga selalu diupayakan besar daya yang dibangkitkan harus sama dengan besar kebutuhan di sisi beban setiap saat. Pada unit pembangkit termal yang berbahan bakar fosil, penambahan beban akan mendorong penambahan kuantitas (jumlah) bahan bakar per satuan waktu yang akan meningkatkan penambahan biaya per satuan waktu. Fluktuasi kebutuhan energi listrik di sisi beban akan menimbulkan fluktuasi biaya bahan bakar, berkaitan dengan hal tersebut perlu ditentukan pola korelasi keduanya yang biasa disebut input output suatu pembangkit tenaga listrik. Selain itu, beban listrik merupakan fungsi biaya pembangkitan, maka perlu dicari solusi untuk mengoperasikan unit-unit pembangkit secara optimum dengan menekan biaya bahan bakar seminimum mungkin dan tetap menjaga kontinuitas pelayanan terhadap konsumen dan tetap memperhatikan constraint operasional. Hal ini disebut juga dengan *economic dispatch (EcD)*. Dengan penerapan *economic dispatch*, akan didapatkan biaya pembangkitan yang minimum terhadap produksi daya listrik yang dibangkitkan unit-unit pembangkit pada suatu sistem kelistrikan. Permasalahan lain yang mempunyai peran cukup penting dalam besarnya daya yang dibangkitkan tiap unit pembangkit adalah emisi. Tiap unit pembangkit thermal yang beroperasi dapat menghasilkan emisi seperti Nitrogen oksida (NO_x), karbon dioksida (CO_x) dan sulfur oksida (SO_x) yang dilepaskan ke lingkungan. Dengan demikian perlu adanya minimalisasi emisi yang dihasilkan oleh tiap unit pembangkit. Hal ini disebut dengan *Emission Dispatch (EmD)*.

Kebutuhan tenaga listrik disuatu daerah secara terus menerus akan mengalami peningkatan sejalan dengan pembangunan dan kemajuan daerah tersebut. Kemajuan dan perkembangan teknologi dewasa ini mengakibatkan kebutuhan tenaga listrik akan semakin meningkat, baik yang berhubungan dengan listrik rumah tangga, komersil maupun industri. Sehingga dibutuhkan pasokan energi listrik yang akan terus meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik, perusahaan listrik harus menyediakan energi secara berkesinambungan.

Sistem tenaga listrik yang besar yang memiliki pembangkit-pembangkit termal seperti PLTU dan PLTG akan menghadapi permasalahan dalam hal biaya bahan bakar untuk pengoperasiannya. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu upaya untuk mengurangi biaya operasi melalui pengurangan biaya bahan bakar sampai pada tingkat minimum. Metode untuk memproduksi dan mendistribusikan tenaga listrik secara ekonomis sedang dipelajari secara intensif oleh peneliti-peneliti yang berkecimpung dalam persoalan ini. Permasalahannya kemudian bagaimana mengatur pembebanan pembangkit listrik tersebut, sehingga jumlah energi listrik yang dibangkitkan sesuai dengan kebutuhan dan biaya produksi menjadi seminimal mungkin serta tetap memperhatikan tuntutan pelayanan. Cara yang dapat ditempuh adalah dengan melakukan koordinasi pembangkit-pembangkit termal dengan pembangkit hidro seperti PLTA, karena PLTA tidak membutuhkan biaya bahan bakar. PLTA dan pembangkit-pembangkit termal diinterkoneksi untuk melayani beban sistem. Dalam hal ini PLTA akan dioperasikan secara maksimum dan unit-unit pembangkit termal dioperasikan setelah mencukupi kebutuhan tenaga listrik yang ada. Pada tugas akhir ini akan digunakan salah satu teknik solusi masalah optimisasi yaitu menggunakan teknik *Modified Artificial Bee Colony Algorithm*.

1.2 Perumusan Masalah

Economic and Emission Dispatch (EcD & EmD) adalah pengoperasian unit-unit pembangkit secara optimum dengan menekan biaya bahan bakar seminimum mungkin dengan mempertimbangkan emisi yang dihasilkan tiap unit pembangkit dan tetap menjaga kontinuitas pelayanan terhadap konsumen dan tetap memperhatikan constraint operasional.

Pada kasus ini data yang digunakan adalah data karakteristik input-output pembangkit termal, data pembebanan maksimum dan minimum masing-masing unit, data kapasitas pembangkit dan data emisi yang dihasilkan tiap pembangkit. Data kapasitas pembangkit sangat penting karena tiap unit generator memiliki kemampuan minimal dan maksimal yang harus diperhitungkan dalam menyuplai beban.

Tanpa mempertimbangkan kerugian transmisi, permasalahan *economic and emission dispatch* diselesaikan dengan *Modified Artificial Bee Colony Algorithm (MABCA)* menggunakan software Matlab.

1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, permasalahan dibatasi sebagai berikut :

1. Pembahasan *economic dispatch* tanpa mempertimbangkan kerugian transmisi.
2. Data cost function, kapasitas pembangkit dan *emission function* generator pada RUPTL Jawa Bali 2021 didapatkan dengan pendekatan dari data Jawa Bali 2014.
3. Simulasi dilakukan dengan menggunakan Matlab 2013
4. Pengujian dilakukan pada 2 kondisi, yaitu beban pada saat pukul 13.00 dan 18.00.
5. Optimalisasi biaya hanya memperhitungkan pembangkit termal dan PLTA difungsikan secara optimal.

1.4 Tujuan Penelitian

Tugas akhir ini bertujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui pemodelan dari *economic and emission dispatch*.
2. Melakukan optimisasi pada pembagian beban unit pembangkit secara ekonomis dan efisien.
3. Melakukan perhitungan *economic and emission dispatch* untuk menentukan total biaya bahan bakar yang minimum dengan menggunakan *Modified Artificial Bee Colony Algorithm* dengan memperhatikan batas-batas daya yang dibangkitkan oleh masing-masing generator.

1.5 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini terdiri dari studi literatur, pengadaan journal ilmiah, pengadaan proceeding, pengadaan text book, dan metode optimasi.

1. Studi Literatur

Studi literatur perlu dilakukan untuk menunjang penguasaan tentang pengumpulan pustaka untuk dipelajari dalam pengerjaan penelitian tugas akhir. Teori – teori penunjang seperti studi analisis sistem tenaga, *economic and emission dispatch* dan metode program *Modified Artificial Bee Colony*.

2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari data historical atau data dari tahun sebelumnya yang nantinya akan dikombinasikan dengan data RUPTL 2015 – 2024. Data tersebut berupa data single line diagram, batasan

tiap unit pembangkit, kapasitas pembangkit, jumlah beban pada sistem, *cost function* tiap pembangkit dan *emission coefficient* dari tiap pembangkit.

3. Pembuatan Program

Pembuatan program *Modified Artificial Bee Colony Algorithm* untuk menyelesaikan permasalahan *Economic Dispatch* dilakukan dalam M-File pada Matlab. Selain itu juga akan dibuat *Graphical User Interface (GUI)* untuk memudahkan pengoperasian program.

4. Simulasi dan Analisis

Simulasi dilakukan dengan sistem jawa bali sesuai dengan RUPTL. Sebelum diaplikasikan pada sistem jawa bali RUPTL, akan dilakukan pengujian dengan sistem IEEE 26 bus yang nantinya akan dibandingkan hasilnya dengan program *economic dispatch* pada buku Hadi Saadat. Data yang diperoleh dari hasil simulasi jawa bali RUPTL akan dianalisis untuk mengetahui keberhasilan dan keefektifan algoritma yang diusulkan.

5. Penulisan Buku

Penulisan laporan dilakukan sebagai penggambaran kesimpulan dari tugas akhir ini. Kesimpulan tersebut merupakan jawaban dari permasalahan yang dianalisis. Selain itu juga akan diberikan saran sebagai masukan berkaitan dengan apa yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini terbagi atas lima bagian dan masing-masing bab akan terurai sebagai berikut:

1. BAB 1 merupakan pendahuluan yang berisi penjelasan tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi tugas akhir ini.
2. BAB 2 berisikan teori penunjang yang membahas tentang *economic dispatch*, karakteristik input-output unit pembangkit dan *Modified Artificial Bee Colony Algorithm*.
3. BAB 3 Berisi tentang penjelasan mengenai penerapan *Modified Artificial Bee Colony* pada sistem yang akan digunakan.
4. BAB 4 berisi tentang hasil simulasi *economic dispatch* menggunakan *Modified Artificial Bee Colony Algorithm*.
5. BAB 5 berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil pembahasan dan saran-saran yang berhubungan dengan pokok-pokok pembahasan.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat memberikan manfaat terhadap perkembangan sistem tenaga listrik pada permasalahan *economic dispatch* dan *Modified Artificial Bee Colony Algorithm*.
2. Dapat menjadi referensi untuk mengembangkan *economic dispatch* dengan batasan atau *constraints* yang lebih kompleks dengan menggunakan *Modified Artificial Bee Colony Algorithm*.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah yang serupa untuk dikembangkan sebagai Tugas Akhir.

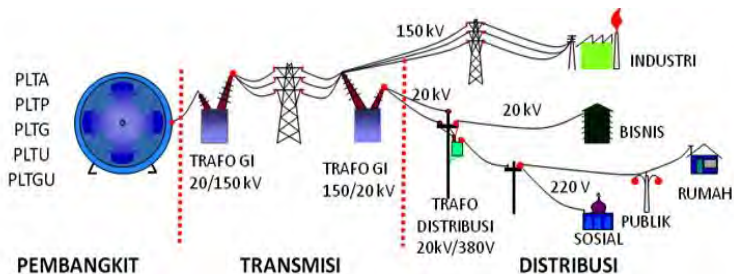
--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BAB 2

ECONOMIC AND EMISSION DISPATCH

2.1 Pengertian Sistem Tenaga Listrik

Pada umumnya, sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu pembangkit tenaga listrik, penyaluran tenaga listrik, dan distribusi tenaga listrik. Ketiga bagian ini tidak dapat dipisahkan karena merupakan suatu sistem yang kompleks yang bekerja untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Energi listrik yang dihasilkan pusat pembangkit listrik akan disalurkan melalui saluran transmisi kemudian melalui saluran distribusi akan sampai ke konsumen.

- **Pusat Pembangkit Listrik (*Power Plant*)**

Pusat pembangkit listrik merupakan tempat pertama kali energi listrik dibangkitkan atau dihasilkan. Di sini terdapat turbin penggerak awal dan juga generator yang mengubah tenaga turbin menjadi energi listrik. Terdapat beberapa jenis pusat pembangkit listrik yang biasanya dibagi kedalam dua bagian besar yaitu pembangkit *hidro* (PLTA) dan pembangkit *thermal* (PLTU, PLTG, PLTGU, PLTD, PLTP).

- **Transmisi Tenaga Listrik**

Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkitan listrik hingga saluran distribusi listrik sehingga nantinya sampai pada konsumen/pengguna listrik.

- **Sistem Distribusi**

Sistem distribusi ini merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan/konsumen dan berfungsi dalam hal pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat. Sub sistem ini terdiri dari : pusat pengatur / gardu induk, gardu hubung, saluran tegangan menengah/jaringan primer (6 kV dan 20 kV) yang berupa saluran udara atau kabel bawah tanah, saluran tegangan rendah / jaringan sekunder (380 V dan 220 V), gardu distribusi tegangan yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan baik tegangan menengah ataupun tegangan rendah, dan trafo. (Joko et al, 2010:1-3)

2.2 Karakteristik Pembangkit Listrik

Mengenal karakteristik pembangkit listrik sangatlah penting guna menekan pembiayaan bahan baku energi. Dengan mengenal karakteristik pembangkit listrik maka pengaturan output pembangkit dapat diatur dengan baik sehingga biaya bahan baku energi dapat diminimalisir. Berdasarkan karakteristik pembangkit listrik, dapat dibuat model matematis untuk proses optimasi agar dihasilkan biaya pembangkitan yang ekonomis.

Ada berbagai macam jenis pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga gas alam (PLTG), pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP), pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), dan pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU).

Pembangkit listrik tersebut dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian besar berdasarkan karakteristiknya yaitu pembangkit *hidro* (PLTA) dan pembangkit *thermal* (PLTU, PLTG, PLTP, PLTD, PLTGU). Pengoptimasian pada kedua klasifikasi pembangkit tersebut sangatlah penting guna terpenuhinya kebutuhan beban dengan biaya yang minimum. Namun, di antara dua karakteristik pembangkit tersebut, pembangkit *thermal* cukup menjadi perhatian dikarenakan biaya bahan bakar/baku-nya yang tinggi dan cukup

sering berubah. Oleh karena itu, untuk lebih lanjutnya akan banyak dibahas mengenai pembangkit *thermal* ini.

2.3 Optimasi Pembangkit Listrik

Pembagian beban pembangkit dalam suatu operasi sistem tenaga listrik merupakan hal yang penting untuk mencapai suatu operasi yang optimal. Diperlukan koordinasi dalam penjadwalan pembebanan besar daya listrik yang dibangkitkan masing-masing pusat pembangkit listrik, sehingga diperoleh biaya pembangkit yang minimum.

Terdapat dua pokok permasalahan yang harus dipecahkan dalam operasi ekonomis pembangkitan pada sistem tenaga listrik yaitu :

- **Pengaturan Unit Pembangkit (*Unit Commitment*)**

Penanganan biaya operasi pembangkit tenaga listrik bisa diminimalkan dengan cara mencari kombinasi yang tepat dari unit pembangkit yang ada. Hal ini dikenal dengan pengaturan unit pembangkit. Pada pengaturan unit akan dibuat skema urutan prioritas, yaitu metode pengoperasian unit pembangkit berdasarkan total biaya rata-rata bahan bakar yang paling murah.

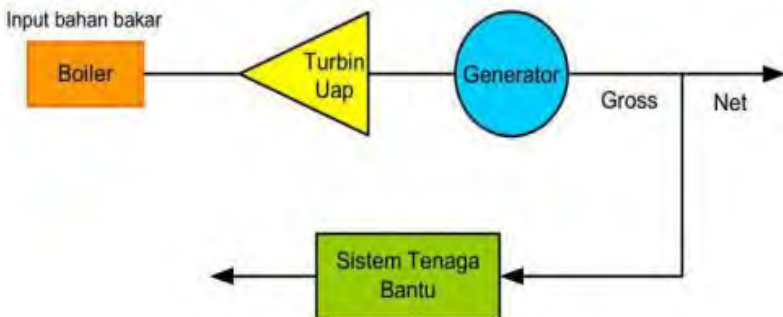
Pengaturan pembangkit menentukan unit mana yang aktif dan unit mana yang tidak aktif dalam melayani beban sistem selama siklus waktu tertentu. Dalam membuat pengaturan jadwal tersebut digunakan pertimbangan teknis dan ekonomis. Dari sejumlah unit pembangkit yang ada akan ditentukan unit mana saja yang beroperasi dan tidak beroperasi pada jam tertentu sehingga dapat dibuat kombinasi operasi dari unit-unit yang ada.

- **Penjadwalan Ekonomis (*Economic Dispatch*)**

Penjadwalan ekonomis merupakan suatu usaha untuk menentukan besar daya yang harus disuplai dari tiap unit generator untuk memenuhi beban tertentu dengan cara membagi beban tersebut pada unit-unit pembangkit yang ada dalam sistem secara optimal ekonomis dengan tujuan meminimumkan biaya operasi pembangkitan.

Penjadwalan ekonomis yang merupakan salah satu pokok permasalahan dalam operasi ekonomis sistem tenaga listrik ini akan dibahas lebih detail khususnya dalam kasus pembangkit *thermal* pada penulisan ini (Nadjamuddin, 2011:186-187).

2.4 Unit Pembangkit Thermal



Gambar 2.2 Sistem Unit Pembangkit Thermal

Gambar di atas merupakan suatu gambaran unit pembangkit *thermal* bekerja. Terdapat boiler, turbin uap, dan generator sebagai alat-alat yang mengubah bahan bakar menjadi energi listrik.

- **Karakteristik Input Output Pembangkit *Thermal***

Karakteristik ini memperlihatkan hubungan antara input pembangkit sebagai fungsi dari output pembangkit. Persamaan karakteristik input-output pembangkit menyatakan hubungan antara jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya tertentu pada pembangkit listrik yang didekati dengan fungsi binomial, yaitu :

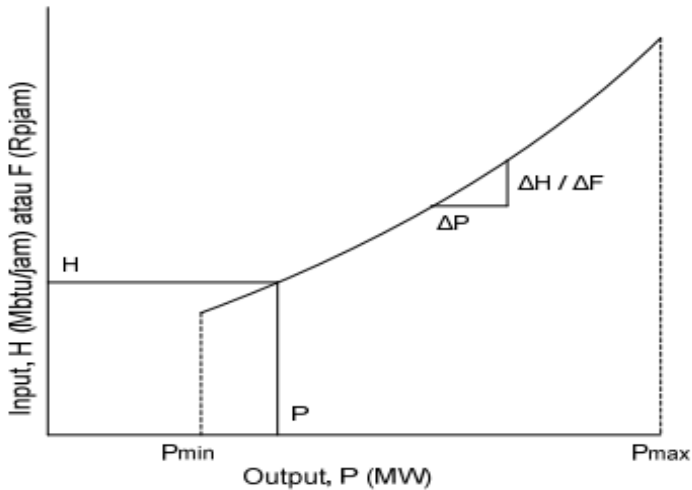
$$F(P) = aP^2 + bP + c \quad (2.1)$$

Keterangan :

F = Biaya bahan bakar per jam (Rp/jam)

P = Output daya pembangkit (MW)

a, b, c = Konstanta persamaan

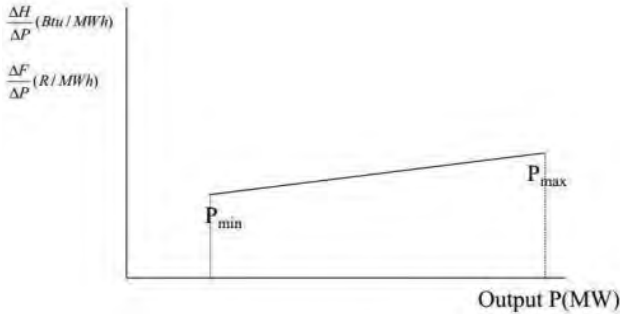


Gambar 2.3 Kurva Karakteristik Input-Output Unit Thermal

Gambar diatas menunjukkan karakteristik input-output unit *thermal* dalam bentuk yang ideal, digambarkan sebagai kurva non-linier yang kontinu. Input dari pembangkit ditunjukkan pada sumbu tegak yaitu energi panas yang dibutuhkan dalam bentuk Mbtu/h karena digunakan satuan British Temperatur Unit (apabila menggunakan SI menjadi MJ/h atau Kcal/H) yang dapat dinyatakan juga sebagai biaya total per jam (Rp/jam). Output dari pembangkit ditunjukkan pada sumbu mendatar yaitu daya listrik yang memiliki batas-batas berupa daya maksimum dan daya minimum pembangkit. (Saadat, 1999:267)

- **Karakteristik Kenaikan Biaya/Panas Pembangkit *Thermal***

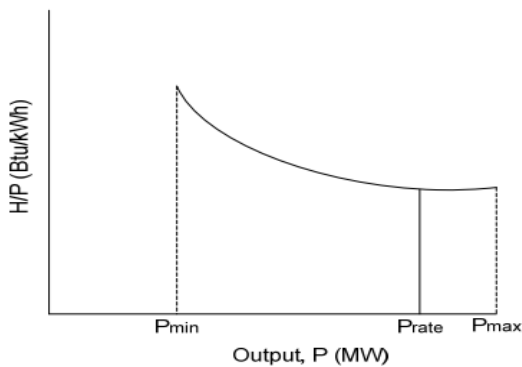
Karakteristik lain yang perlu untuk diketahui pada suatu pembangkit *thermal* adalah karakteristik laju panas atau *incremental heat* yang dapat juga dikatakan sebagai karakteristik kenaikan biaya. Karakteristik ini merupakan suatu kemiringan (*slope*) dari karakteristik input-output ($\frac{\Delta H}{\Delta P}$ atau $\frac{\Delta F}{\Delta P}$) atau turunan pertama dari karakteristik input-output.



Gambar 2.4 Kurva Karakteristik Kenaikan Biaya/Panas Unit Thermal

Pada karakteristik ini ditunjukkan nilai Btu per MWh atau Rp/MWh terhadap daya keluaran dalam satuan MW. Lebih lanjutnya, karakteristik ini digunakan untuk perhitungan pembebanan ekonomis dari unit pembangkit. Jika persamaan input-ouput unit pembangkit dinyatakan dalam pendekatan dengan menggunakan persamaan kuadrat, maka karakteristik kenaikan biaya akan mempunyai bentuk garis lurus. (Saadat, 1999:267)

- Karakteristik Efisiensi Terhadap Output Karakteristik laju panas juga salah satu karakteristik yang perlu diketahui. Pada karakteristik ini, input merupakan jumlah panas per kilowattjam (Btu/kWh) dan output merupakan daya listrik dalam satuan MW.



Gambar 2.5 Kurva Karakteristik Efisiensi Terhadap Output

Karakteristik laju panas ini menunjukkan kerja sistem dari sistem pembangkit *thermal* seperti kondisi uap, temperatur panas, tekanan kondensor, dan siklus aliran air secara keseluruhan. Pada kurva terlihat bahwa efisiensi yang baik terletak pada limit maksimalnya. (Adrianti, 2010)

2.5 *Economic Dispatch* pada Unit Pembangkit *Thermal* dengan Mengabaikan Rugi-rugi Transmisi

Operasi sistem tenaga listrik pada frekuensi konstan dapat disebut juga power balance, yaitu pembangkitan daya real sama dengan total beban ditambah rugi-rugi transmisi, yang dituliskan sebagai berikut :

$$P_G = P_D + P_L \quad (2.2)$$

Jika kerugian transmisi diabaikan, maka persamaan di atas menjadi,

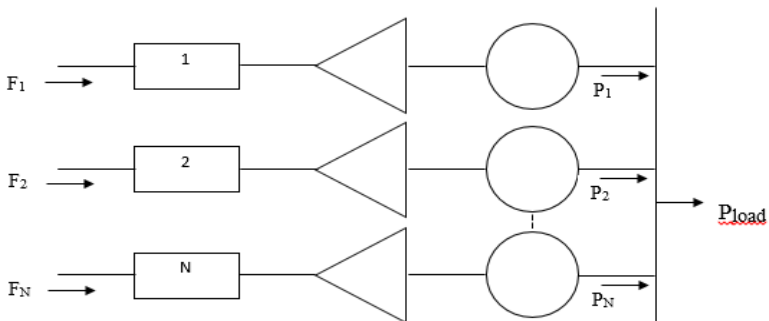
$$P_G = P_D \quad (2.3)$$

Dimana

P_G = Total daya dari semua pembangkit

P_D = Total daya yang dibutuhkan oleh beban

Model permasalahan ini mengasumsikan bahwa hanya ada satu bus dalam sistem yang menghubungkan beberapa generator/pembangkit yang ada seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.6 Pembangkit Terhubung Pada 1 Bus

Pemodelan biaya bahan bakar berkaitan dengan daya aktif yang diproduksi pembangkit. Telah dibahas sebelumnya mengenai input pembangkit *thermal* yang merupakan bahan bakar dan outputnya berupa daya aktif. Untuk menghitung biaya pembangkitannya maka dari persamaan fungsi *heatrate* pada subbab 2.4 akan dikalikan dengan harga kalor (didapat dari harga bahan bakar dalam hal ini batubara dibagi dengan nilai kalornya). Oleh karena itu model matematis fungsi biaya dapat ditulis sebagai berikut :

$$F_T = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \quad (2.4)$$

$$F_i(P_i) = a_i P^2 + b_i P + c_i \quad (2.5)$$

Keterangan :

F_T = Total biaya pembangkitan (Rupiah)

$F_i(P_i)$ = Fungsi biaya input-output dari pembangkit I (Rp/jam)

a_i, b_i, c_i = Koefisien biaya dari pembangkit i

P_i = Output pembangkit I (MW)

N = Jumlah unit pembangkit

I = Indeks dari *dispatchable* unit

Jadi, seperti persamaan di atas, terlihat bahwa total biaya pembangkitan merupakan jumlah dari fungsi biaya tiap pembangkit. Masing-masing pembangkit memiliki batasan yang dirumuskan sebagai berikut :

$$P_{min} \leq P_G \leq P_{max} \quad (2.6)$$

Batas atas suatu pembangkit berhubungan dengan rating *thermal* stator generator. Sedangkan batas minimal suatu generator berhubungan dengan operasi *boiler* yang menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin. (Wood & Wollenberg, 1996:29-32)

2.6 Emission Dispatch

Permasalahan *emission dispatch* sama dengan permasalahan *economic dispatch*, namun tujuannya berbeda. Ketika *economic dispatch* lebih menekankan kepada faktor ekonomis, maka *emission dispatch* akan lebih menekankan pada reduksi kuantitas dari emisi yang dihasilkan tiap unit pembangkit. Berikut ini adalah persamaannya :

$$FE_i(P_i) = d_i P^2 + e_i P + f_i \quad (2.7)$$

Dimana,

$FE_i(P_i)$: Fungsi emisi dari pembangkit I (gram/jam)

d_i, e_i, f_i : Koefisien emisi dari pembangkit i

2.7 Combined Economic and Emission Dispatch

Economic and emission dispatch adalah permasalahan optimasi dengan dua objektif, yaitu meminimalkan total biaya pembangkitan dan juga kuantitas dari emisi. Cara untuk menyelesaikan economic and emission dispatch adalah dengan merubah permasalahan optimasinya dengan menjadikan single objective dengan menggunakan *price penalty factor* (Venkatesh et al.,2003). Berikut ini adalah persamaannya :

$$F = W_1 \cdot \sum_{i=1}^N (FC_i) + W_2 \cdot \sum_{i=1}^N (h_i \cdot FE_i) \quad (2.8)$$

$$h_i = \frac{FC_i}{FE_i} \quad (2.9)$$

$$W_1 + W_2 = 1 \quad (2.10)$$

Dimana,

F : Fungsi Tujuan

FC_i : Biaya Pembangkitan Generator i

FE_i : Banyak emisi yang dihasilkan generator i

h_i : *Price Penalty Factor*

W_1 : Bobot Untuk Biaya Pembangkitan

W_2 : Bobot Untuk Emisi Pembangkit

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

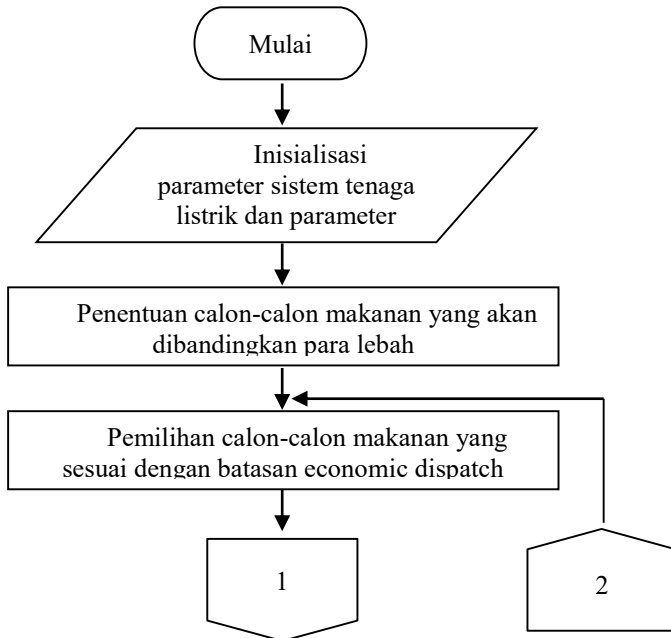
BAB 3

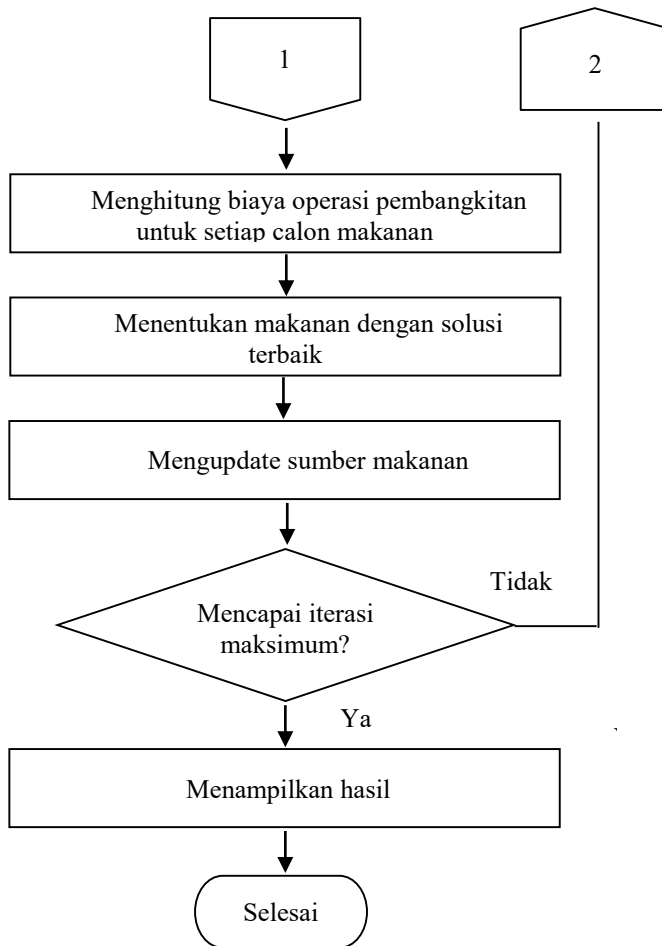
ECONOMIC AND EMISSION DISPATCH MENGUNAKAN ALGORITMA MODIFIED ARTIFICIAL BEE COLONY

Pada bab ini akan dijelaskan penyelesaian untuk menentukan biaya pembangkitan menggunakan *economic dispatch* dengan algoritma *modified artificial bee colony*.

3.1 Penerapan Algoritma *Modified Artificial Bee Colony*

Algoritma *modified artificial bee colony* merupakan metode yang akan digunakan dalam menyelesaikan perhitungan biaya ekonomis pada *economic dispatch*. MABCA akan menentukan kombinasi daya output beberapa generator untuk memenuhi permintaan beban dalam waktu tertentu. Langkah – langkah yang disajikan dalam diagram alir pada tugas akhir ini adalah





Gambar 3.1 Diagram Alir Penyelesaian Economic Dispatch Menggunakan MABCA

Penjelasan *flowchart* :

1. Inisialisasi input program dan input dari *plant* yang akan dioptimasi. Input program berupa banyaknya populasi, banyak sumber makanan, maksimal nilai limit, nilai *modification rate*, *scaling factor* dan maksimal iterasi yang akan dijalankan.

Sedangkan input dari *plant* adalah banyaknya unit generator, nilai *cost function* dan *emission function* dan total beban yang diminta.

2. Penentuan calon-calon kandidat makanan yang akan dibandingkan para lebah, makanan adalah representasi dari daya output generator yang nantinya akan dioptimasi.
3. Selanjutnya calon makanan akan diperiksa satu persatu dan akan diambil informasinya oleh lebah-lebah. Nantinya lebah akan menentukan apakah sumber makanan tersebut perlu di *update* lokasinya atau tidak dan akan diperiksa kondisinya, melanggar batasan yang ada atau tidak.
4. Setelah itu setiap kandidat makanan akan dihitung biaya pembangkitannya dan akan dihitung nilai *fitness* dari masing-masing kandidat yang ada. Kandidat makanan dengan biaya termurah akan disimpan untuk sementara waktu yang nantinya akan dibandingkan dengan calon kandidat terbaik dari iterasi selanjutnya.
5. Proses ini akan berlangsung secara terus menerus dan akan berhenti jika iterasi maksimum tercapai.
6. Ketika iterasi maksimum tercapai, maka daya output generator dengan biaya pembangkitan termurah akan ditampilkan

3.1.1 Inisialisasi Awal MABCA

Pada proses inisialisasi, pertama yang akan dilakukan adalah memuat sistem yang akan dioptimasi. Pada tugas akhir ini mengusulkan sistem kelistrikan jamali sesuai dengan RUPTL, namun sebelumnya akan dilakukan pengujian program menggunakan sistem IEEE 26 bus yang nantinya akan dibandingkan dengan metode lagrange yang diambil dari buku Hadi Saadat.

3.1.1.1 Sistem IEEE 26 Bus

Pada sistem IEEE 26 bus terdapat 6 unit pembangkit termal. Berikut ini adalah data yang akan menjadi input program utama.

Tabel 3.1 Data Fungsi Biaya dan Batasan Unit Pembangkit Sistem IEEE 26 Bus

Unit	Cost Function			Pmin (MW)	Pmax (MW)
	a	b	c		
1	0.00375	2	0	50	200

Tabel 3.1 Data Fungsi Biaya dan Batasan Unit Pembangkit Sistem IEEE 26 Bus (Lanjutan)

Unit	Cost Function			Pmin (MW)	Pmax (MW)
	a	b	c		
2	0.0175	1.7	0	20	80
3	0.0625	1	0	15	50
4	0.00834	3.25	0	10	35
5	0.025	3	0	10	30
6	0.025	3	0	12	40

Tabel 3.2 Data Fungsi Emisi Tiap Unit Pembangkit Sistem IEEE 26 Bus

Unit	Emission Function		
	a	b	c
1	0.0126	-0.9	22.983
2	0.02	-0.1	25.313
3	0.027	-0.01	25.505
4	0.0291	-0.005	24.9
5	0.029	-0.004	24.7
6	0.0271	-0.0055	25.3

3.1.1.2 Sistem Jamali 2021

Pada sistem jamali 2021 terdapat 17 unit pembangkit termal dan 3 pembangkit listrik tenaga air. Dalam tugas akhir ini 3 unit PLTA akan dioperasikan secara maksimal. Berikut ini adalah data yang akan menjadi input program utama.

Tabel 3.3 Data Fungsi Biaya Pembangkit Sistem Jamali 2021

Unit	Cost Function		
	A	b	c
Suralaya	-400.805	332794.44	57543208.49
Banten	123.803	982201.25	45915179.34
Bojanegara	-216.776	1687044.26	26078106.5
Balaraja	-216.776	1687044.26	26078106.5
Muarakarang	203.72	2707932.51	66802287.3
Priok	-51.779	2895112.78	175648457.9
Muaratawar	691.768	3047098.7	519353767.1
Matenggeng	0	400	0

Tabel 3.3 Data Fungsi Biaya Pembangkit Sistem Jamali 2021 (Lanjutan)

Unit	Cost Function		
	a	b	c
Paiton	218.287	2104640.99	180205527.9
Jawa 1	-198.132	1626063.24	36865968.36
Cirata	0	400	0
Saguling	0	600	0
Cirebon	-123.97	1535364.19	49030275.11
Jateng	-52.124	1745451.56	44057796.02
Indramayu	551.861	1577296.45	138462967.6
Tanjung Jati	-80.972	2828349.26	133177025.6
Gresik	-73.818	5877235.44	112522922.1
Tanjung Pucut	-108.388	2530566.39	39117159.75
Grati	203.407	2545832.46	140621312.5
Cilacap	-102.233	2480952.82	110670582.7

Tabel 3.4 Data Fungsi Emisi Pembangkit Sistem Jamali 2021

Unit	Emission Function		
	d	e	f
Suralaya	-236.68	1983806.21	34251909.82
Banten	37.7793714	299725.74	14011345.54
Bojanegara	-66.150748	514813.628	7957920.812
Balaraja	-66.150748	514813.628	7957920.812
Muarakarang	62.1666158	826344.983	20385196
Priok	-11.111373	621268.837	37692802.12
Muaratawar	96.1723898	423620.006	72202664.69
Matenggeng	0	0	0
Paiton	149.511644	1441534.92	123428443.8
Jawa 1	-60.461	496204.833	11249914.06
Cirata	0	0	0
Saguling	0	0	0
Cirebon	-87.180028	1079721.65	49030275.11
Jateng	-11.185408	374560.421	9454462.665
Indramayu	96.1723898	423620.006	72202664.69
Tanjung Jati	-56.942335	1988993.85	93654729.68
Gresik	-15.840773	1261209.32	24146549.81
Tanjung Pucut	-76.222222	1779582.55	27508551.16

Tabel 3.4 Data Fungsi Emisi Pembangkit Sistem Jamali 2021 (Lanjutan)

Unit	Emission Function		
	d	e	f
Grati	62.0711016	2545832.46	140621312.5
Cilacap	-71.893812	1744692.56	77827413.99

Tabel 3.5 Daya Minimal dan Maksimal Generator Sistem Jamali 2021

Unit	Pmin (MW)	Pmax (MW)
Suralaya	1610	4200
Banten	690	1725
Bojanegara	800	2000
Balaraja	800	2000
Muarakarang	848	2119
Priok	1149	2872
Muaratawar	1080	2700
Matenggeng	360	900
Paiton	1886	4714
Jawa I	640	1600
Cirata	403	1008
Saguling	696	1740
Cirebon	824	2060
Jateng	760	1900
Indramayu	1060	2650
Tanjung Jati	1856	4640
Gresik	1216	3040
Tanjung Pucut	1200	3000
Grati	546	1365
Cilacap	1436	3589

3.1.1.3 Pemilihan Kandidat Solusi yang Sesuai

Setelah penentuan kandidat-kandidat solusi yang merupakan kombinasi secara acak dari daya output tiap generator, maka setiap kandidat solusi akan dipilih berdasarkan batasan-batasan operasi economic dispatch yang dimuat pada persamaan di atas.

3.1.2 Penentuan Biaya Pembangkitan Total

Biaya pembangkitan yang diperhitungkan pada tugas akhir ini dibatasi pada 2 jenis biaya, yaitu biaya operasional generator dan biaya emisi. Biaya operasional generator dihitung dengan menggunakan *cost function* pada tabel 3.3, sedangkan biaya emisi akan dihitung dengan menggunakan *emission function* yang telah disajikan pada tabel 3.4. *Emission function* harus dikalikan terlebih dahulu dengan penalty factor agar satuannya berubah yang semula gram per jam menjadi Rupiah per jam. Setelah kedua biaya ini tercapai, kemudian dijumlahkan untuk memperoleh biaya total pembangkitan.

3.1.3 Update Sumber Makanan Lebah

Setelah memperoleh biaya total pembangkitan, maka dilakukan perangkingan sumber makanan berdasarkan hasil fungsi objektif yang merupakan biaya pembangkitan total paling ekonomis. Sumber makanan yang memiliki nilai *fitness* paling baik melambangkan kandidat solusi yang memiliki biaya total pembangkitan yang paling ekonomis.

Pada algoritma *artificial bee colony*, penentuan lokasi sumber makanan mula-mula akan ditentukan dengan perumusan sebagai berikut.

$$X_{ij} = X_{j \min} + \text{rand}(0,1) (X_{j \max} - X_{j \min}) \quad (3.1)$$

Dimana $X_{j \min}$ adalah batas bawah dari komponen ke j dan $X_{j \max}$ adalah batas atas dari komponen ke j, sedangkan X_{ij} adalah kemungkinan solusi ke i dari komponen ke j.

Ketika *employed bees* mendatangi sumber makanan X_{ij} , maka dia akan mengubah posisi dari sumber makanan berdasarkan informasi local yang ada disekitarnya saat itu. Sehingga lokasi sumber makanan yang baru pun dapat diperoleh dengan perumusan sebagai berikut :

$$V_{ij} = X_{ij} + \theta_{ij} (X_{ij} - X_{kj}) \quad (3.2)$$

Dimana V_{ij} adalah posisi baru dari sumber makanan ke-I untuk komponen ke-J, sedangkan X_{ij} adalah posisi lama dari sumber makanan ke-I untuk komponen ke-J. $I = 1, 2, \dots, SN$; $J = 1, 2, \dots, n$; $k = 1, 2, \dots, SN$. Dimana SN adalah jumlah dari lebah pekerja.

Pada *modified artificial bee colony* persamaan 3.2 akan dimodifikasi menjadi :

$$V_{ij} = \begin{cases} X_{ij} + \theta_{ij} (X_{ij} - X_{kj}), & \text{if } R_{ij} \leq MR \\ X_{ij} & \end{cases} \quad (3.3)$$

Dimana R_{ij} adalah angka yang terdistribusi secara acak Antara range $[0,1]$. MR adalah *modification rate* yang mempunyai nilai antara 0 sampai dengan 1.

Untuk mengatur keberagaman dari solusi yang didapat, nilai θ_{ij} dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. θ_{ij} memiliki nilai antara -1 sampai dengan 1. Namun pada *modified artificial bee colony* nilai ini dapat diatur sesuai dengan keinginan antara $-SF$ sampai dengan SF . Nilai SF ini ditentukan sebelum program dijalankan. Nilai SF yang kecil akan menyebabkan pencarian solusi terbaik berjalan dengan *step* yang kecil, tentunya hal ini akan membuat konvergensi menjadi lama. Sedangkan nilai SF yang besar akan mempercepat pencarian solusi terbaik tetapi akan mereduksi tingkat eksploitasi dari proses pengacakan.

Pada tugas akhir ini, X_{ij} dapat dianggap sebagai kemungkinan solusi ke i dari generator ke j . $X_{j \min}$ adalah batas bawah dari generator ke j dan $X_{j \max}$ adalah batas atas dari generator ke j . Sedangkan V_{ij} adalah solusi baru ke- i untuk generator ke- J .

3.1.4 Hasil Biaya Total

Pada bagian akhir ini akan ditampilkan hasil biaya total pembangkitan dari semua unit generator. Selain itu akan ditampilkan pula grafik konvergensi MABCA untuk menyelesaikan permasalahan *economic dispatch* pada sistem jamali 2021 berdasarkan RUPTL.

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini akan diuraikan data hasil pengujian *economic dispatch* pada sistem transmisi 500 kV Jawa Bali 2021 dengan menggunakan algoritma *modified artificial bee colony*.

4.1 Pengujian Metode *Modified Artificial Bee Colony Algorithm*

Sebelum diterapkan pada sistem 500 kV Jawa Bali 2021, terlebih dahulu akan dilakukan pengujian terhadap metode yang akan digunakan. Metode yang digunakan akan dibandingkan dengan metode *artificial bee colony* tanpa modifikasi. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *plant* yang terdiri dari 6 pembangkit dan akan dilakukan tanpa mempertimbangkan emisi dan dengan mempertimbangkan emisi.

4.1.1 Pengujian Tanpa Mempertimbangkan Emisi

Data pada tabel 3.1 diinputkan pada program dan didapatkan hasil sebagai berikut. Percobaan dilakukan selama 5 kali dan menggunakan beban sebesar 400 MW.

Tabel 4.1 Perbandingan Biaya Pembangkitan Tanpa Mempertimbangkan Emisi

No.	Cost (\$/Jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	1210.756	1210.748
2	1210.637	1211.33
3	1210.972	1211.009
4	1211.184	1211.399
5	1211.412	1211.204
Deviasi	0.314312	0.263814
Nilai Rata – Rata	1210.992	1211.138

Berdasarkan data pada tabel 4.1, diketahui bahwa biaya optimal dari kedua metode berbeda. Pada metode pertama, setelah dilakukan percobaan selama 5 kali didapatkan total biaya pembangkitan sebesar

1210.992 \$ per jam. Sedangkan pada metode kedua didapatkan total biaya pembangkitan sebesar 1211.138 \$ per jam. Terlihat bahwa metode pertama lebih baik dalam melakukan optimasi biaya pembangkitan. Selanjutnya akan dilakukan pengujian dengan mempertimbangkan emisi.

4.1.2 Pengujian Dengan Mempertimbangkan Emisi

Data pada tabel 3.1 dan 3.2 diinputkan pada program dan didapatkan hasil sebagai berikut. Percobaan dilakukan selama 5 kali dan menggunakan beban sebesar 400 MW. Pengujian dilakukan dengan menggunakan faktor pembobotan $W1=0.5$ dan $W2=0.5$.

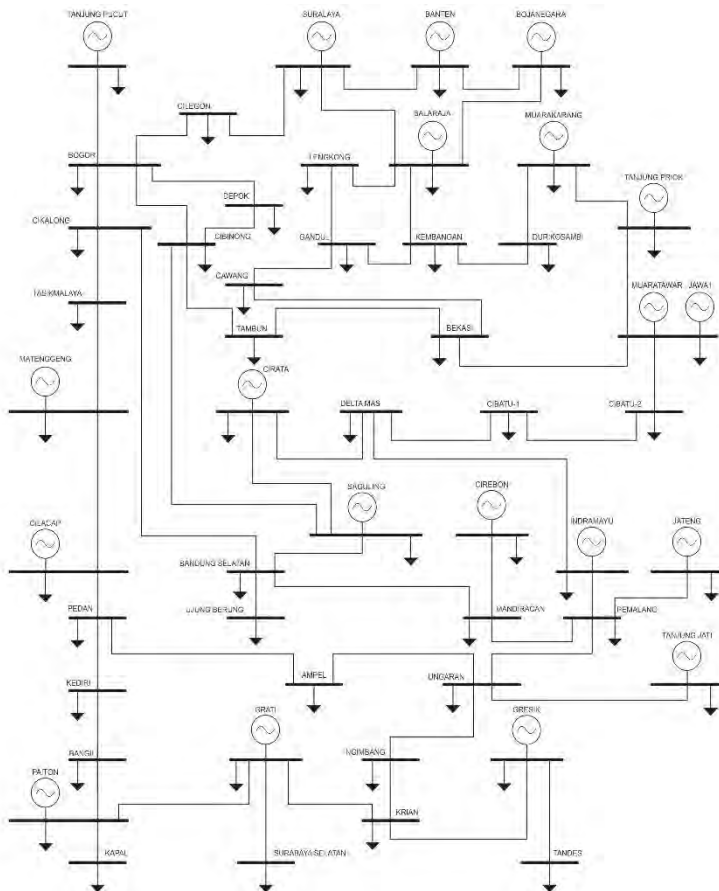
Tabel 4.2 Perbandingan Biaya Pembangkitan Dengan Mempertimbangkan Emisi

No.	Cost (\$/Jam)		Emisi (ton/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	1212.431	1215.302	0.6866370	0.6819573
2	1212.422	1217.626	0.6848519	0.6798119
3	1215.749	1211.456	0.6796094	0.6872940
4	1213.971	1213.375	0.6856549	0.6835049
5	1218.628	1216.470	0.6777846	0.6802352
Deviasi	2.616564	2.461165	0.0039483	0.0030258
Nilai Rata-Rata	1214.64	1214.846	0.6829075	0.6825607

Berdasarkan data pada tabel 4.2, diketahui bahwa biaya optimal dari kedua metode berbeda. Setelah dilakukan 5 kali percobaan, diketahui bahwa biaya optimal rata-rata yang dihasilkan oleh metode pertama adalah 1214.64 \$ per jam dengan emisi sebesar 0.6829075 ton per jam. Sedangkan biaya optimal rata-rata yang dihasilkan oleh metode kedua adalah 1214.846 \$ per jam dengan emisi sebesar 0.6825607 ton per jam. Dari 2 jenis pengujian yang telah dilakukan, terlihat bahwa metode yang diusulkan lebih unggul daripada metode pendahulunya. Hal ini terlihat dari total biaya pembangkitan rata-rata, namun emisi yang dihasilkan masih lebih kecil jika menggunakan metode *bee colony* tanpa modifikasi.

4.2 Data Pembangkit Sistem 500 kV Jawa Bali 2021

Pada tugas akhir ini menggunakan sistem 500 kV Jawa Bali yang saling terkoneksi sehingga lebih efektif dan memiliki keandalan tinggi. Terlihat pada tabel 3.3, Sistem 500 kV Jawa Bali 2021 mempunyai 20 pembangkit yang terdiri dari 17 pembangkit termal dan 3 PLTA. PLTA akan dioperasikan secara optimal dalam menyuplai beban dan sisanya akan ditanggung oleh pembangkit termal. *Single Line Diagram* sistem 500 kV Jawa Bali dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Single Line Diagram Sistem 500 kV Jawa Bali 2021

Tabel 4.3 Data beban pembangkitan Sistem 500 kV Jawa Bali 2021

Pukul	Beban (MW)
13.00	39587
19.00	39983

4.3 Simulasi *Modified Artificial Bee Colony* pada *Economic Emission Dispatch*

Parameter yang digunakan dalam mengaplikasikan MABCA dalam menyelesaikan CEED pada sistem 500 kV Jawa Bali ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Parameter *Modified Artificial Bee Colony Algorithm*

Population	Foods	Limit	Iterasi	MR	SF
50	25	100	1000	0.8	3

Jumlah makanan yang tersedia adalah setengah dari jumlah populasi yang ada. *Foods* merepresentasikan calon-calon solusi CEED. Limit merepresentasikan batas toleransi dari sebuah solusi jika tidak dapat di *upgrade*. Iterasi adalah banyaknya proses perhitungan akan dilakukan oleh program dalam mendapatkan solusi terbaik. MR adalah *Modification Rate*. MR akan mempengaruhi kecepatan program dalam mendapatkan hasil yang konvergen. Semakin besar nilai MR, maka konvergensi akan semakin cepat dan bila MR bernilai kecil, maka konvergensi akan semakin lambat. Namun tidak selamanya MR yang bernilai besar akan mempercepat konvergensi, tergantung pada seberapa rumit *plant* yang digunakan. SF adalah *Scaling Factor*. SF akan mempengaruhi tingkat *diversity* dari program yang dijalankan.

4.3.1 Hasil Simulasi

Simulasi CEED dengan *Modified Artificial Bee Colony* menggunakan parameter pada tabel 4.4. Simulasi akan dilakukan sebanyak 5 kali percobaan. Berikut adalah penjelasannya.

4.3.1.1 Kasus 1 ($W_1=1$ dan $W_2=0$)

Pada kasus 1 akan digunakan faktor pembobotan W_1 dengan nilai 1 dan W_2 dengan nilai 0. Hasil simulasi dari kasus 1 dapat dilihat pada tabel 4.5 sampai dengan tabel 4.8.

Tabel 4.5 Total Biaya Pada Pukul 13.00 Kasus 1

No.	Cost (Rp/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	83.640.598.013	84.764.219.524
2	82.464.012.857	84.830.269.649
3	84.053.878.070	84.490.982.555
4	83.637.679.785	83.098.645.308
5	83.556.880.077	84.606.621.553
Deviasi	595.333.984,9	716.506,122
Nilai Rata-Rata	83.470.609.760	84.358.147.718

Tabel 4.6 Total Emisi Pada Pukul 13.00 Kasus 1

No.	Emisi (ton/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	39.835147610	38.692673660
2	39.310091771	39.777582181
3	39.079021433	40.205227668
4	39.750781815	40.742406429
5	40.939767151	39.955149403
Deviasi	0.717825821	0.7541971212
Nilai Rata-Rata	39.782961956	39.874607868

Dari hasil simulasi pada tabel 4.5 dan 4.6 diketahui bahwa total biaya optimal dari kedua metode berbeda. Pada metode pertama didapatkan total biaya optimal senilai Rp 83.470.609.760 per jam dengan emisi sebesar 39.782961956 ton per jam, sedangkan pada metode kedua didapatkan total biaya optimal senilai Rp 84.358.147.718 per jam dengan emisi sebesar 39.874607868 ton per jam.

Tabel 4.7 Total Biaya Pada Pukul 19.00 Kasus 1

No.	Cost (Rp/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	84.846.571.259	85.132.167.874
2	84.064.463.735	85.503.124.308
3	84.171.650.139	85.586.950.937
4	84.540.677.866	86.763.440.902
5	84.379.980.821	85.844.907.494
Deviasi	309.976.985,4	613.192.473,1
Nilai Rata-Rata	84.400.668.764	85.766.118.303

Tabel 4.8 Total Emisi Pada Pukul 19.00 Kasus 1

No.	Emisi (ton/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	39.954899775	39.556888512
2	39.660106855	39.790256021
3	40.260670095	39.551830116
4	39.896071652	39.609104264
5	39.636352628	40.920360851
Deviasi	0.2542055799	0.5864562908
Nilai Rata-Rata	39.881620201	39.885687953

Dari hasil simulasi pada tabel 4.7 dan 4.8 diketahui bahwa total biaya optimal dari kedua metode berbeda. Pada metode pertama didapatkan total biaya optimal senilai Rp 84.400.668.764 per jam dengan emisi sebesar 39.881620201 ton per jam, sedangkan pada metode kedua didapatkan total biaya optimal senilai Rp 85.766.118.303 per jam dengan emisi sebesar 39.885687953 ton per jam.

4.3.1.2 Kasus 2 ($W1=0.75$ dan $W2=0.25$)

Pada kasus 2 akan digunakan faktor pembobotan $W1$ dengan nilai 0.75 dan $W2$ dengan nilai 0.25. Hasil simulasi dari kasus 2 dapat dilihat pada tabel 4.5 sampai dengan tabel 4.8.

Tabel 4.9 Total Biaya Pada Pukul 13.00 Kasus 2

No.	Cost (Rp/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	83.454.184.547	83.263.352.878
2	84.266.673.032	84.940.003.798
3	83.189.816.184	83.803.841.548
4	84.100.879.516	85.449.536.500
5	83.418.432.956	86.639.766.145
Deviasi	469.264.075	1.339.588.720
Nilai Rata-Rata	83.685.997.247	84.819.300.174

Tabel 4.10 Total Emisi Pada Pukul 13.00 Kasus 2

No.	Emisi (ton/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	38.787488940	39.793562948
2	40.625600723	40.352741221
3	40.438665226	39.565468084
4	37.189442217	40.607958043
5	39.554112145	38.656862917
Deviasi	1.399433254	0.761580351
Nilai Rata-Rata	39.319061850	39.795318642

Dari hasil simulasi pada tabel 4.9 dan 4.10 diketahui bahwa total biaya optimal dari kedua metode berbeda. Pada metode pertama didapatkan total biaya optimal senilai Rp 83.685.997.247 per jam dengan emisi sebesar 39.319061850 ton per jam, sedangkan pada metode kedua

didapatkan total biaya optimal senilai Rp 84.819.300.174 per jam dengan emisi sebesar 39.795318642 ton per jam.

Tabel 4.11 Total Biaya Pada Pukul 19.00 Kasus 2

No.	Cost (Rp/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	84.053.837.553	85.930.581.400
2	84.327.415.065	85.891.406.944
3	83.961.252.715	85.376.973.936
4	84.548.773.321	85.995.267.967
5	85.507.918.694	85.850.674.474
Deviasi	619.544.555	247.311.533
Nilai Rata-Rata	84.479.839.469	85.808.980.944

Tabel 4.12 Total Emisi Pada Pukul 19.00 Kasus 2

No.	Emisi (ton/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	38.970320856	39.915251153
2	39.839102389	40.059369908
3	40.043399464	39.595168877
4	39.516672157	39.049733125
5	39.708065711	39.415817259
Deviasi	0.408560724	0.402148750
Nilai Rata-Rata	39.615512115	39.607068064

Dari hasil simulasi pada tabel 4.11 dan 4.12 diketahui bahwa total biaya optimal dari kedua metode berbeda. Pada metode pertama didapatkan total biaya optimal senilai Rp 84.479.839.469 per jam dengan emisi sebesar 39.615512115 ton per jam, sedangkan pada metode kedua didapatkan total biaya optimal senilai Rp 85.808.980.944 per jam dengan emisi sebesar 39.607068064 ton per jam.

4.3.1.3 Kasus 3 ($W1=0.5$ dan $W2=0.5$)

Pada kasus 2 akan digunakan faktor pembobotan $W1$ dengan nilai 0.5 dan $W2$ dengan nilai 0.5. Hasil simulasi dari kasus 3 dapat dilihat pada tabel 4.13 sampai dengan tabel 4.16.

Tabel 4.13 Total Biaya Pada Pukul 13.00 Kasus 3

No.	Cost (Rp/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	84.250.747.554	85.528.865.554
2	83.595.374.023	85.314.816.065
3	84.193.500.636	84.298.374.380
4	83.758.861.431	84.899.100.929
5	83.943.172.621	85.293.114.382
Deviasi	279.315.179	486.013.282,2
Nilai Rata-Rata	83.948.331.253	85.066.854.262

Tabel 4.14 Total Emisi Pada Pukul 13.00 Kasus 3

No.	Emisi (ton/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	38.997358566	39.894393167
2	38.267621157	39.762644216
3	39.031536557	39.839073535
4	38.638145157	39.436699542
5	38.183101162	39.224891790
Deviasi	0.3959417296	0.288390292
Nilai Rata-Rata	38.623552520	39.631540450

Dari hasil simulasi pada tabel 4.13 dan 4.14 diketahui bahwa total biaya optimal dari kedua metode berbeda. Pada metode pertama didapatkan total biaya optimal senilai Rp 83.948.331.253 per jam dengan emisi sebesar 38.623552520 ton per jam, sedangkan pada metode kedua

didapatkan total biaya optimal senilai Rp 85.066.854.262 per jam dengan emisi sebesar 39.631540450 ton per jam.

Tabel 4.15 Total Biaya Pada Pukul 19.00 Kasus 3

No.	Cost (Rp/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	84.240.149.657	85.716.905.939
2	84.994.384.170	85.945.421.410
3	84.885.982.774	86.447.074.534
4	84.426.312.615	85.341.480.337
5	84.257.010.923	86.005.985.032
Deviasi	355.995.212,8	405.487.989,8
Nilai Rata-Rata	84.560.768.028	85.891.373.450

Tabel 4.16 Total Emisi Pada Pukul 19.00 Kasus 3

No.	Emisi (ton/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	38.940389329	39.468553941
2	39.167488725	38.459663285
3	39.459703552	40.974225855
4	39.896141071	39.238824713
5	39.948817403	39.007930053
Deviasi	0.442206574	0.9410584654
Nilai Rata-Rata	39.482508016	39.429839569

Dari hasil simulasi pada tabel 4.15 dan 4.16 diketahui bahwa total biaya optimal dari kedua metode berbeda. Pada metode pertama didapatkan total biaya optimal senilai Rp 84.560.768.028 per jam dengan emisi sebesar 39.482508016 ton per jam, sedangkan pada metode kedua didapatkan total biaya optimal senilai Rp 85.891.373.450 per jam dengan emisi sebesar 39.429839569 ton per jam.

4.3.1.4 Kasus 4 ($W1=0.25$ dan $W2=0.75$)

Pada kasus 4 akan digunakan faktor pembobotan $W1$ dengan nilai 0.25 dan $W2$ dengan nilai 0.75. Hasil simulasi dari kasus 5 dapat dilihat pada tabel 4.17 sampai dengan tabel 4.20.

Tabel 4.17 Total Biaya Pada Pukul 13.00 Kasus 4

No.	Cost (Rp/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	83.490.663.289	84.909.387.868
2	85.269.283.670	84.607.998.656
3	84.567.686.170	84.844.490.024
4	84.763.946.972	84.741.395.342
5	82.361.009.266	86.740.709.742
Deviasi	1.164.228.358	886.079.108
Nilai Rata-Rata	84.090.517.873	85.168.796.326

Tabel 4.18 Total Emisi Pada Pukul 13.00 Kasus 4

No.	Emisi (ton/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	38.232599089	39.116026099
2	39.992515008	39.825837368
3	38.085665093	39.517791478
4	39.854570946	39.710916561
5	36.844055428	39.747721791
Deviasi	1.322487597	0.284947587
Nilai Rata-Rata	38.601881113	39.583658660

Dari hasil simulasi pada tabel 4.17 dan 4.18 diketahui bahwa total biaya optimal dari kedua metode berbeda. Pada metode pertama didapatkan total biaya optimal senilai Rp 84.090.517.873 per jam dengan emisi sebesar 38.601881113 ton per jam, sedangkan pada metode kedua

didapatkan total biaya optimal senilai Rp 85.168.796.326 per jam dengan emisi sebesar 39.583658660 ton per jam.

Tabel 4.19 Total Biaya Pada Pukul 19.00 Kasus 4

No.	Cost (Rp/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	85.785.093.893	85.827.517.664
2	83.144.172.934	87.848.832.255
3	84.170.449.958	84.412.188.239
4	84.259.055.685	86.869.041.187
5	86.238.096.934	85.041.603.287
Deviasi	1.268.537.267	1.382.283.777
Nilai Rata-Rata	84.719.373.881	85.999.836.526

Tabel 4.20 Total Emisi Pada Pukul 19.00 Kasus 4

No.	Emisi (ton/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	38.954245113	39.384055792
2	39.523258879	38.325820497
3	39.891273953	39.101222012
4	38.882088292	40.711529414
5	39.053232465	39.180880348
Deviasi	0.432106701	0.865148173
Nilai Rata-Rata	39.260819740	39.340701613

Dari hasil simulasi pada tabel 4.19 dan 4.20 diketahui bahwa total biaya optimal dari kedua metode berbeda. Pada metode pertama didapatkan total biaya optimal senilai Rp 84.719.373.881 per jam dengan emisi sebesar 39.260819740 ton per jam, sedangkan pada metode kedua didapatkan total biaya optimal senilai Rp 85.999.836.526 per jam dengan emisi sebesar 39.340701613 ton per jam.

4.3.1.5 Kasus 5 (W1=0 dan W2=1)

Pada kasus 5 akan digunakan faktor pembobotan W1 dengan nilai 0 dan W2 dengan nilai 1. Hasil simulasi dari kasus 5 dapat dilihat pada tabel 4.21 sampai dengan tabel 4.24.

Tabel 4.21 Total Biaya Pada Pukul 13.00 Kasus 5

No.	Cost (Rp/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	84.901.653.670	85.253.324.281
2	83.166.442.173	85.551.401.344
3	84.262.405.219	85.484.541.665
4	84.271.902.593	85.870.085.155
5	84.093.379.003	85.492.449.478
Deviasi	624.996.489,3	221.439.176,6
Nilai Rata-Rata	84.139.156.532	85.530.360.385

Tabel 4.22 Total Emisi Pada Pukul 13.00 Kasus 5

No.	Emisi (ton/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	38.773686534	39.168028142
2	38.936489591	39.029478087
3	38.550203559	40.513713930
4	38.212868656	39.596394601
5	38.492957758	38.285946858
Deviasi	0.2770253851	0.8182455254
Nilai Rata-Rata	38.593241220	39.318712323

Dari hasil simulasi pada tabel 4.13 dan 4.14 diketahui bahwa total biaya optimal dari kedua metode berbeda. Pada metode pertama didapatkan total biaya optimal senilai Rp 84.139.156.532 per jam dengan emisi sebesar 38.593241220 ton per jam, sedangkan pada metode kedua

didapatkan total biaya optimal senilai Rp 85.530.360.385 per jam dengan emisi sebesar 39.318712323 ton per jam.

Tabel 4.23 Total Biaya Pada Pukul 19.00 Kasus 5

No.	Cost (Rp/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	84.098.061.706	87.640.986.999
2	84.590.033.572	86.189.273.987
3	85.797.133.394	85.161.850.647
4	84.592.191.976	85.495.477.068
5	85.104.174.872	86.277.166.824
Deviasi	644.241.689,1	954.666.427
Nilai Rata-Rata	84.836.319.104	86.152.951.105

Tabel 4.24 Total Emisi Pada Pukul 19.00 Kasus 5

No.	Emisi (ton/jam)	
	Modified Bee Colony	Bee Colony
1	37.933379089	39.480545779
2	39.315172196	40.946895196
3	40.773040980	38.574876412
4	37.373441545	37.591637625
5	39.668565343	39.743032400
Deviasi	1.366798362	1.262945948
Nilai Rata-Rata	39.012719831	39.267397482

Dari hasil simulasi pada tabel 4.15 dan 4.16 diketahui bahwa total biaya optimal dari kedua metode berbeda. Pada metode pertama didapatkan total biaya optimal senilai Rp 84.836.319.104 per jam dengan emisi sebesar 39.012719831 ton per jam, sedangkan pada metode kedua didapatkan total biaya optimal senilai Rp 85.552.951.105 per jam dengan emisi sebesar 39.267397482 ton per jam.

4.4 Hubungan Biaya Pembangkitan dan Emisi

4.4.1 Hubungan Biaya Pembangkitan dan Emisi Pada Permasalahan CEED Menggunakan Metode *Modified Artificial Bee Colony Algorithm*.

Pada sub bab 4.3 telah diperlihatkan hasil simulasi dari dua metode, yaitu metode lebah modifikasi dan metode lebah tanpa modifikasi. Pada kasus pertama hanya memprioritaskan pada pengoptimalan biaya pembangkit daripada menurunkan nilai emisi. Pada kasus kedua pengoptimalan direncanakan secara seimbang antara biaya pembangkitan dan emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran pembangkit. Pada kasus ketiga hanya memprioritaskan pada upaya untuk menurunkan emisi yang dihasilkan oleh pembangkit daripada pengoptimalan biaya pembangkitan.

Tabel 4.25 Total Biaya dan Total Emisi Rata-Rata pada pukul 13.00 menggunakan MABCA

Kasus	Cost (Rp/jam)	Emisi (ton/jam)
1	83.470.609.760	39.782961956
2	83.685.997.247	39.319061850
3	83.948.331.253	38.623552520
4	84.090.517.873	38.601881113
5	84.139.156.532	38.593241220

Tabel 4.26 Total Biaya dan Total Emisi Rata-Rata pada pukul 19.00 menggunakan MABCA

Kasus	Cost (Rp/jam)	Emisi (ton/jam)
1	84.400.668.764	39.881620201
2	84.479.839.469	39.615512115
3	84.560.768.028	39.482508016
4	84.719.373.881	39.260819740
5	84.836.319.104	39.012719831

Tabel 4.27 Total Biaya dan Total Emisi Rata-Rata pada pukul 13.00 menggunakan ABCA

Kasus	Cost (Rp/jam)	Emisi (ton/jam)
1	84.358.147.718	39.874607868
2	84.819.300.174	39.795318642
3	85.066.854.262	39.631540450

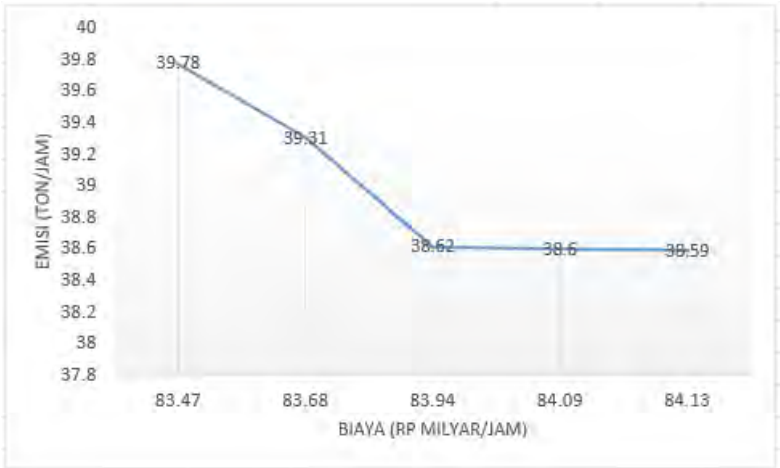
Tabel 4.27 Total Biaya dan Total Emisi Rata-Rata pada pukul 13.00 menggunakan ABCA (Lanjutan)

Kasus	Cost (Rp/jam)	Emisi (ton/jam)
4	85.168.796.326	39.583658660
5	85.530.360.385	39.318712323

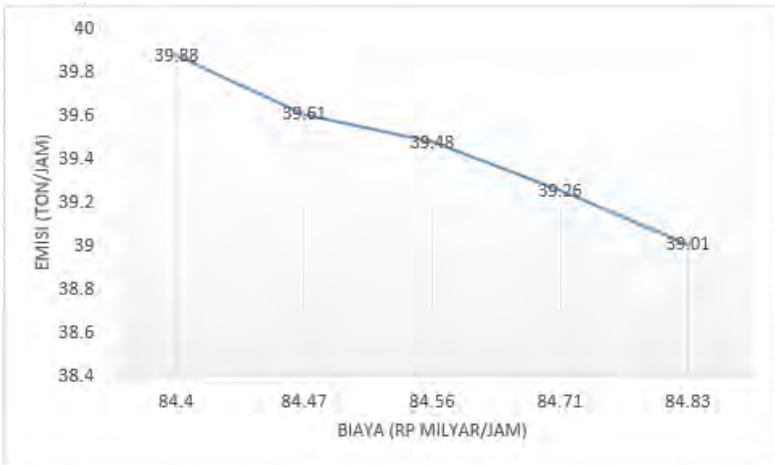
Tabel 4.28 Total Biaya dan Total Emisi Rata-Rata pada pukul 19.00 menggunakan ABCA

Kasus	Cost (Rp/jam)	Emisi (ton/jam)
1	85.766.118.303	39.885687953
2	85.808.980.944	39.607068064
3	85.891.373.450	39.429839569
4	85.999.836.526	39.340701613
5	85.552.951.105	39.267397482

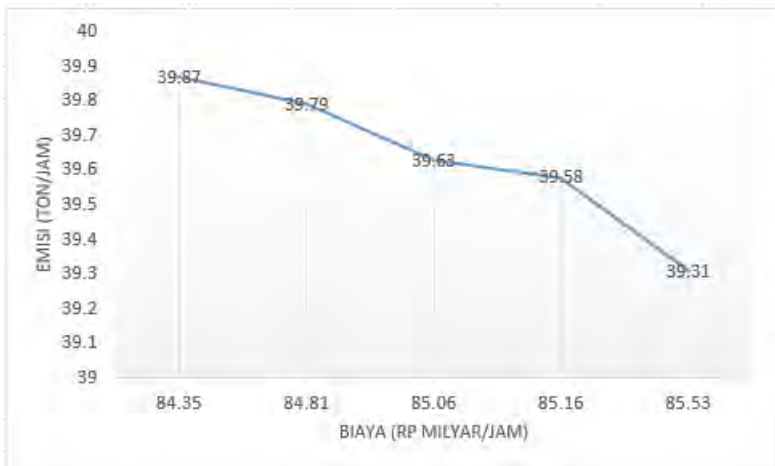
Sedangkan di bawah ini adalah grafik hubungan antara total biaya pembangkitan dan emisi.



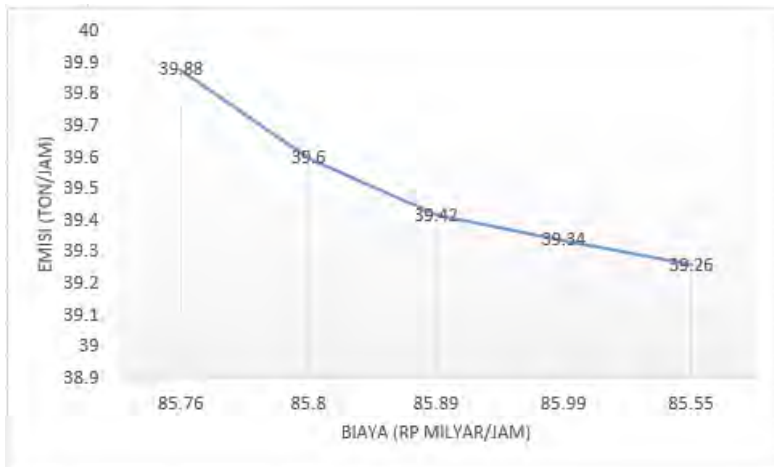
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Total Biaya Pembangkitan dan Emisi rata-rata pada pukul 13.00 Menggunakan MABCA



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Total Biaya Pembangkitan dan Emisi rata-rata pada pukul 19.00 Menggunakan MABCA



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Total Biaya Pembangkitan dan Emisi rata-rata pada pukul 13.00 Menggunakan ABCA

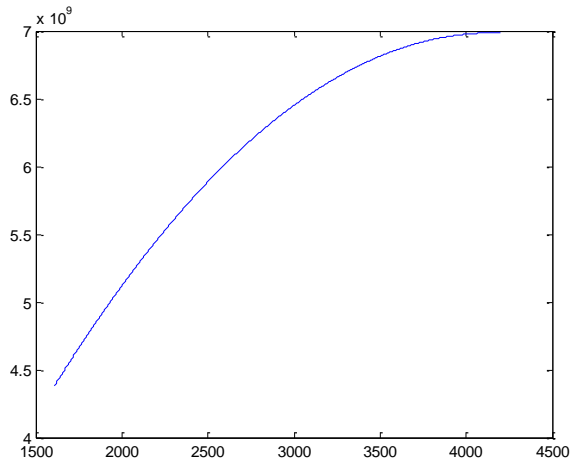


Gambar 4.5 Grafik Hubungan Total Biaya Pembangkitan dan Emisi rata-rata pada pukul 19.00 Menggunakan ABCA

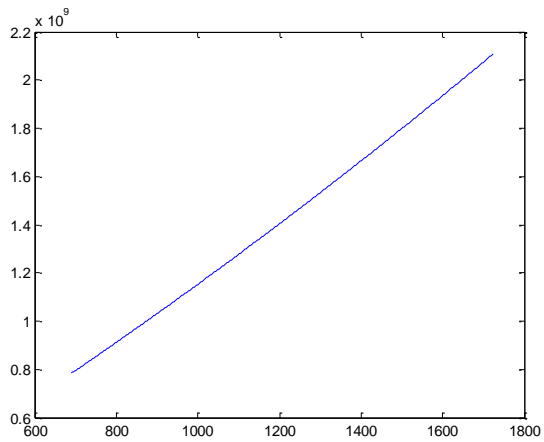
Pada gambar 4.2 - 4.3 dan gambar 4.4 – 4.5 dapat dilihat bahwa semakin naiknya beban akan berpengaruh pada meningkatnya total biaya pembangkitan dan menghasilkan emisi lebih besar. Jika dibandingkan antara *Modified Artificial Bee Colony* (MABCA) dan *Artificial Bee Colony* (ABCA), MABCA memiliki hasil optimasi yang lebih baik pada semua level beban dan semua kasus, baik dalam aspek biaya pembangkitan maupun emisi yang dihasilkan.

LAMPIRAN

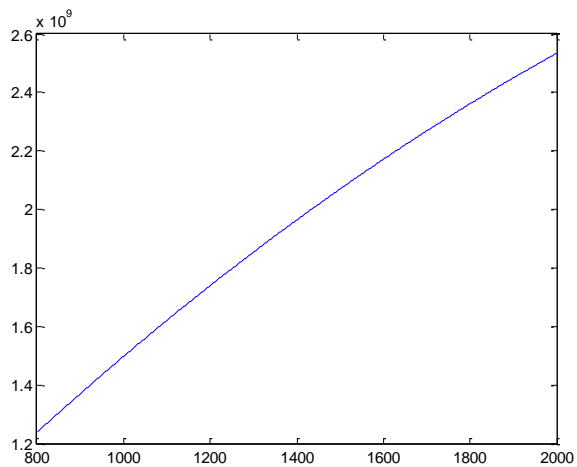
Kurva *Cost Function*



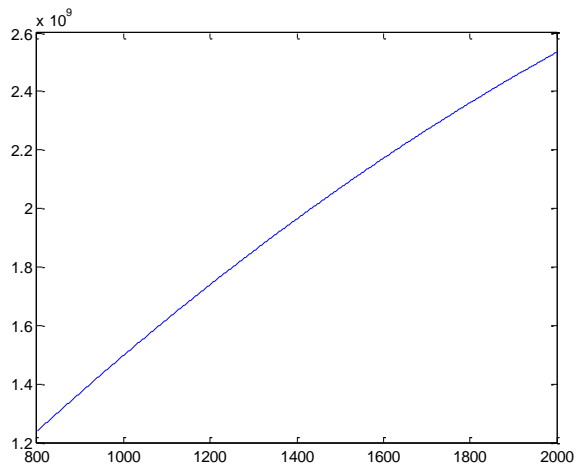
Gambar 1. Kurva *Cost Function* Unit Suralaya



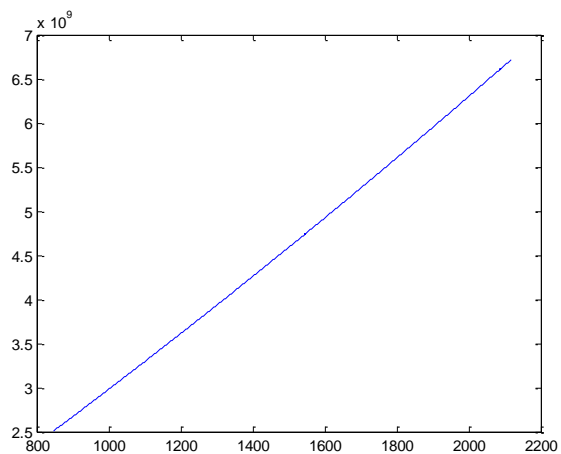
Gambar 2. Kurva *Cost Function* Unit Banten



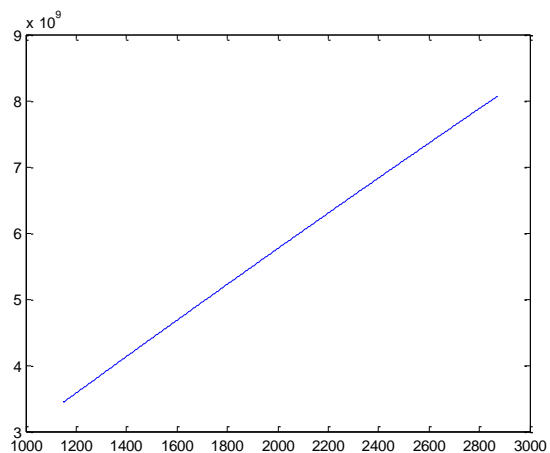
Gambar 3. Kurva *Cost Function* Unit Bojanegara



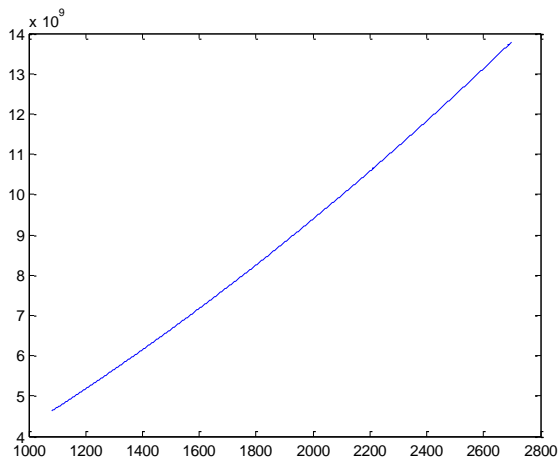
Gambar 4. Kurva *Cost Function* Unit Balaraja



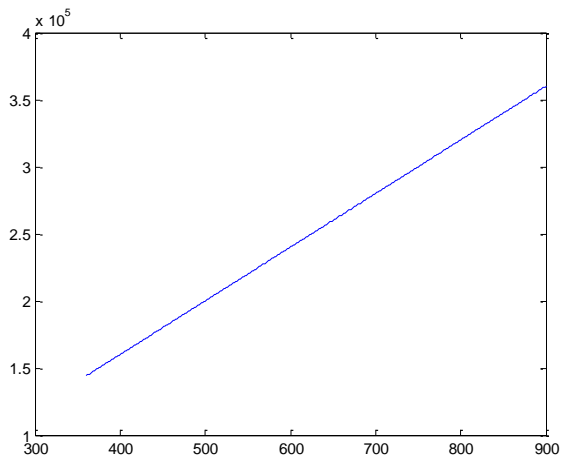
Gambar 5. Kurva *Cost Function* Unit Muarakarang



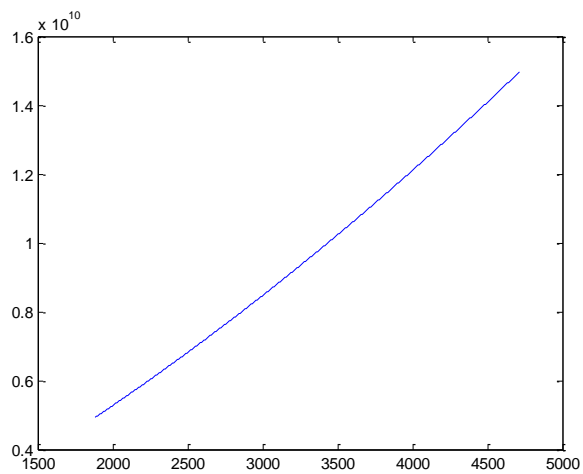
Gambar 6. Kurva *Cost Function* Unit Priok



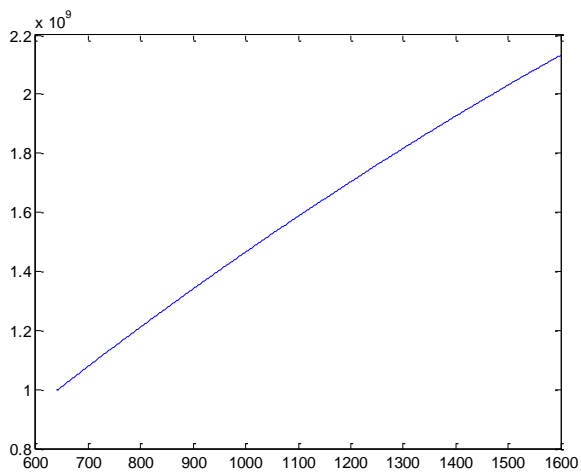
Gambar 7. Kurva *Cost Function* Unit Muaratawar



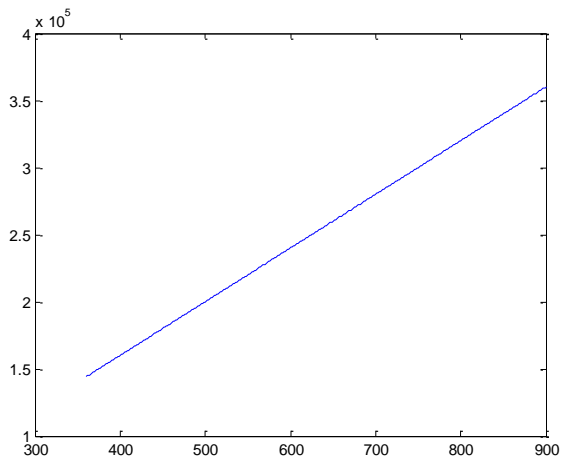
Gambar 8. Kurva *Cost Function* Unit Matenggeng



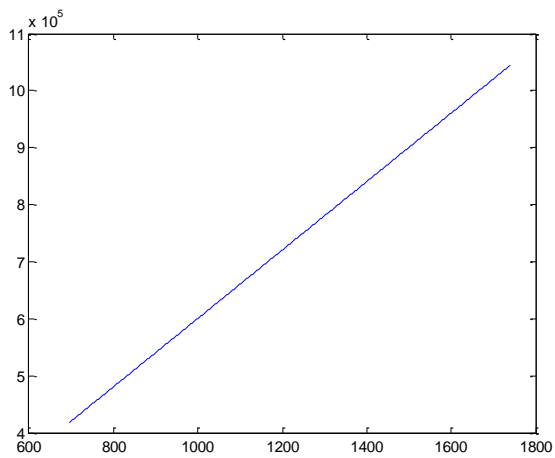
Gambar 9. Kurva *Cost Function* Unit Paiton



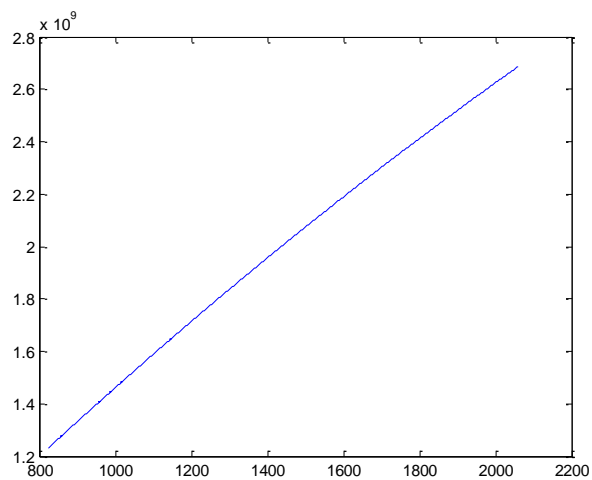
Gambar 10. Kurva *Cost Function* Unit Jawa 1



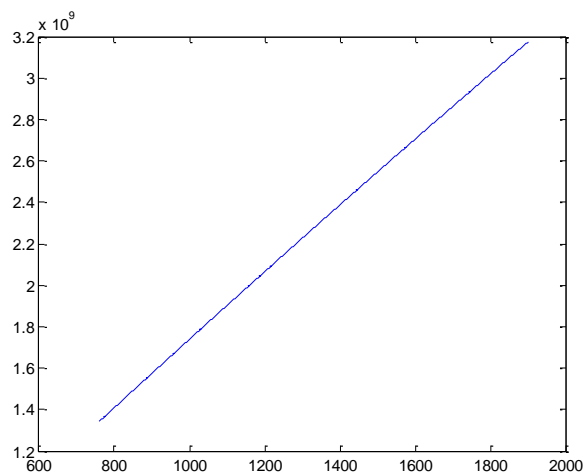
Gambar 11. Kurva *Cost Function* Unit Cirata



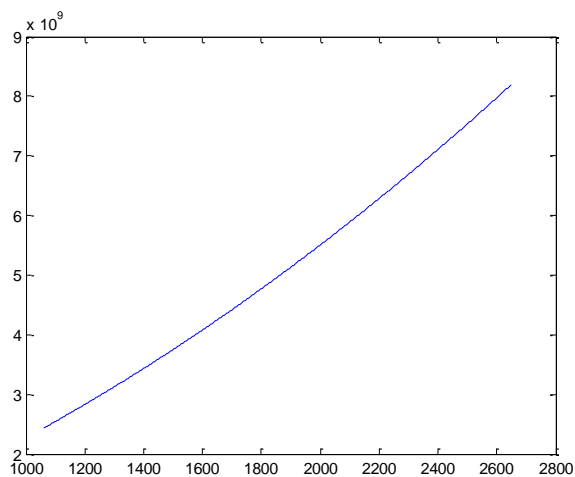
Gambar 12. Kurva *Cost Function* Unit Saguling



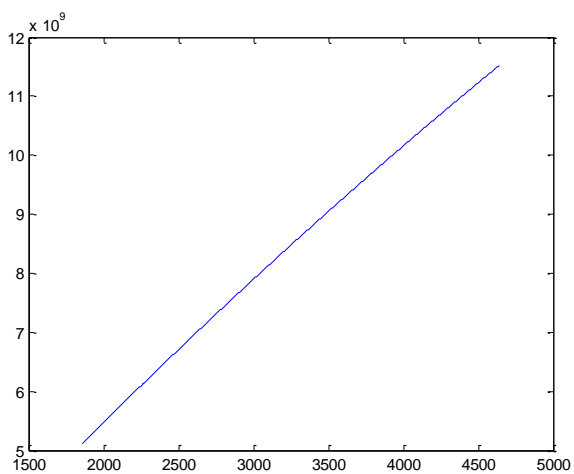
Gambar 13. Kurva *Cost Function* Unit Cirebon



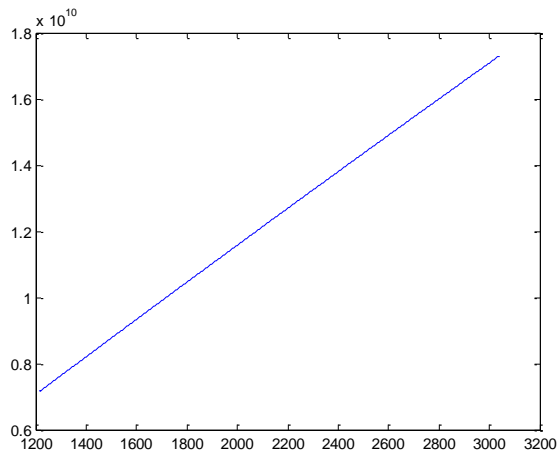
Gambar 14. Kurva *Cost Function* Unit Jateng



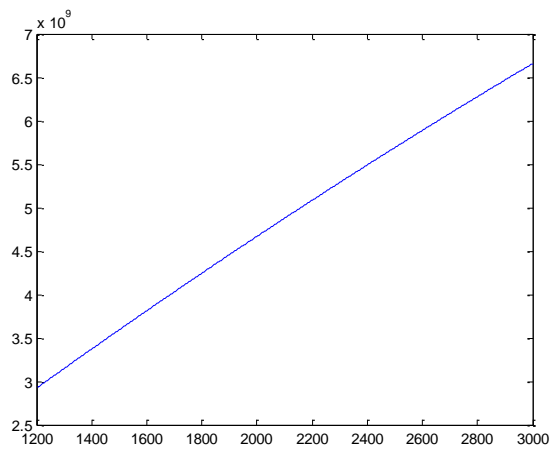
Gambar 15. Kurva *Cost Function* Unit Indramayu



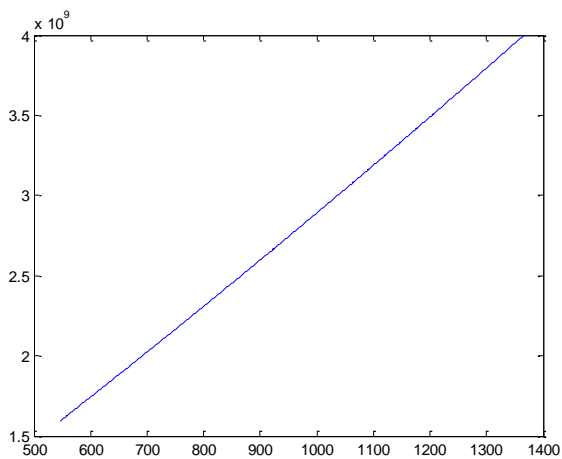
Gambar 16. Kurva *Cost Function* Unit Tanjung Jati



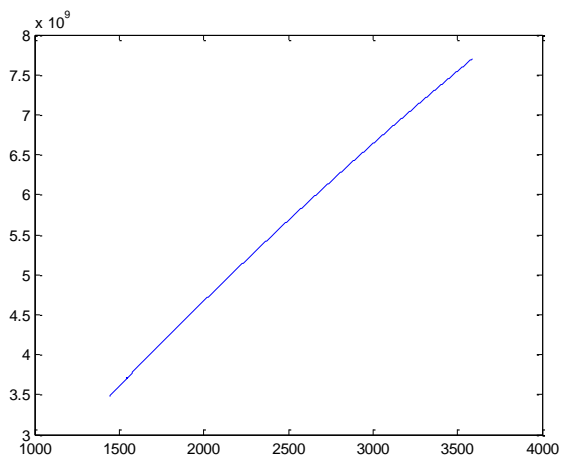
Gambar 17. Kurva *Cost Function* Unit Gresik



Gambar 18. Kurva *Cost Function* Unit Tanjung Pucut

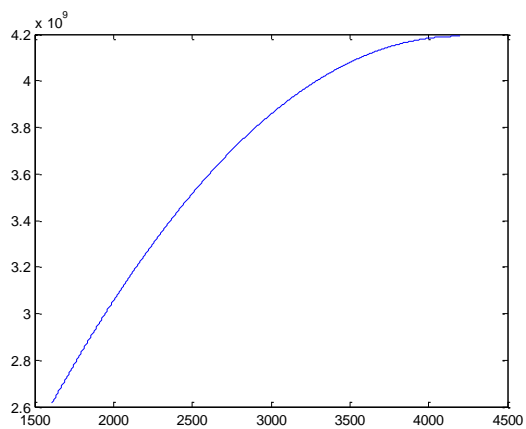


Gambar 19. Kurva *Cost Function* Unit Grati

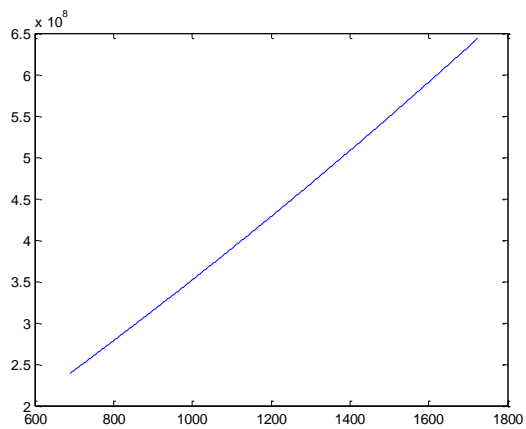


Gambar 20. Kurva *Cost Function* Unit Cilacap

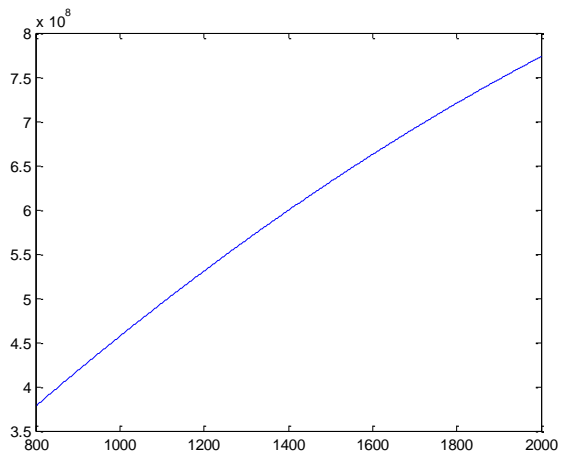
Kurva *Emission Function*



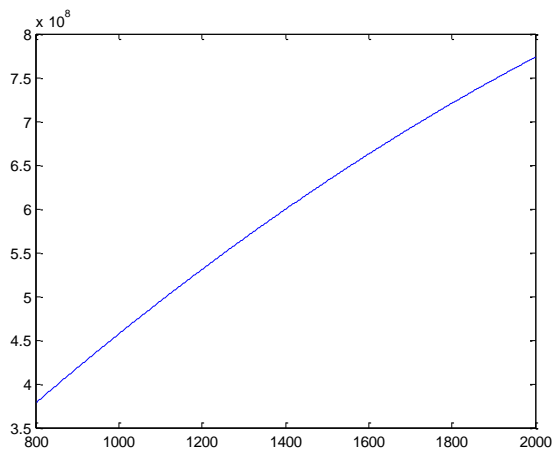
Gambar 21. Kurva *Emission Function* Unit Suralaya



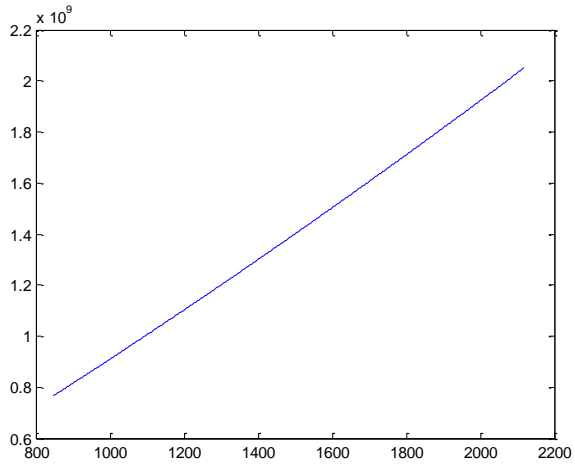
Gambar 22. Kurva *Emission Function* Unit Banten



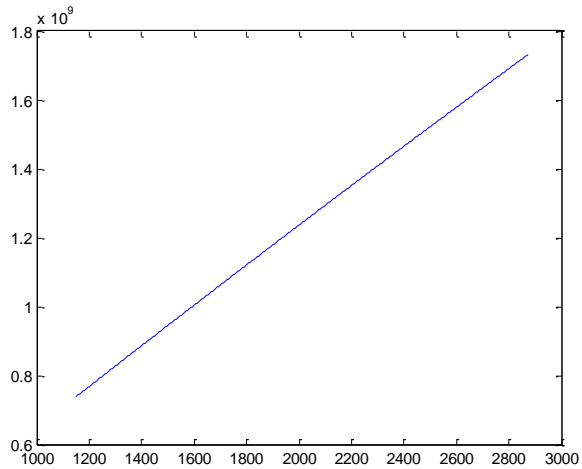
Gambar 23. Kurva *Emission Function* Unit Bojanegara



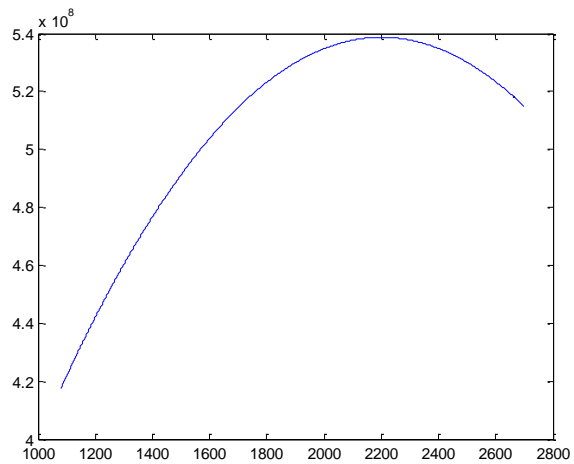
Gambar 24. Kurva *Emission Function* Unit Balaraja



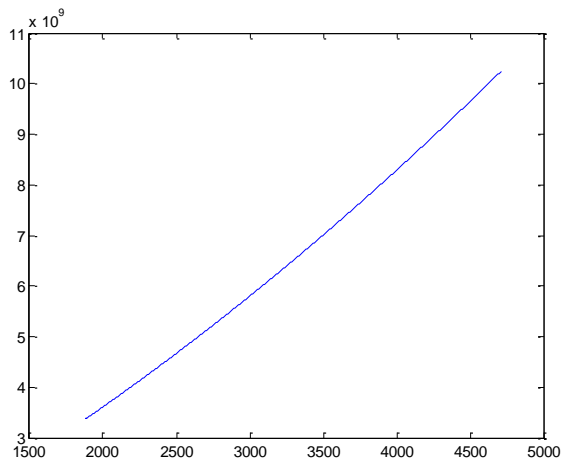
Gambar 25. Kurva *Emission Function* Unit Muarakarang



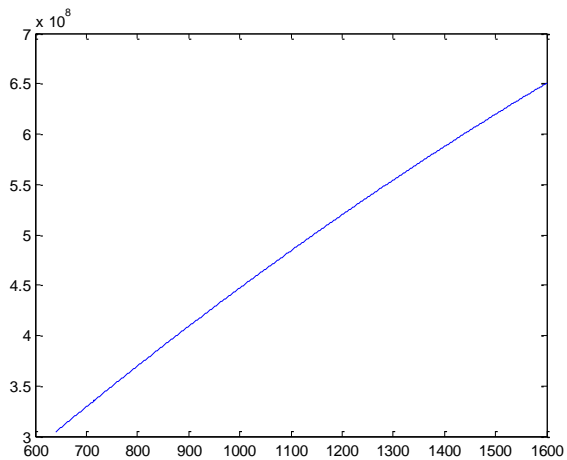
Gambar 26. Kurva *Emission Function* Unit Priok



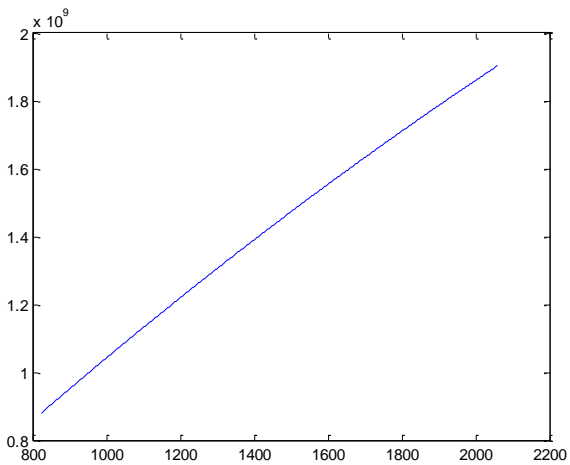
Gambar 27. Kurva *Emission Function* Unit Muaratawar



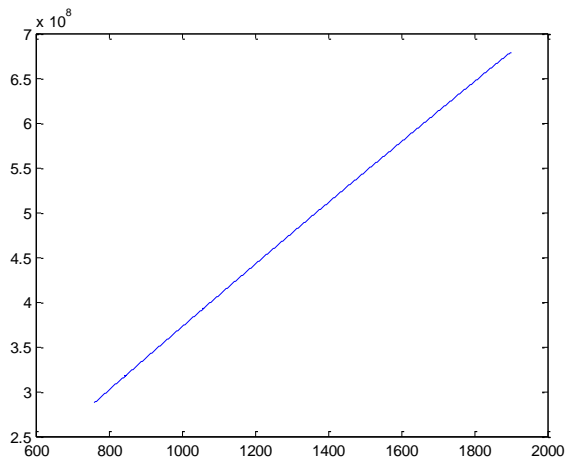
Gambar 28. Kurva *Emission Function* Unit Paiton



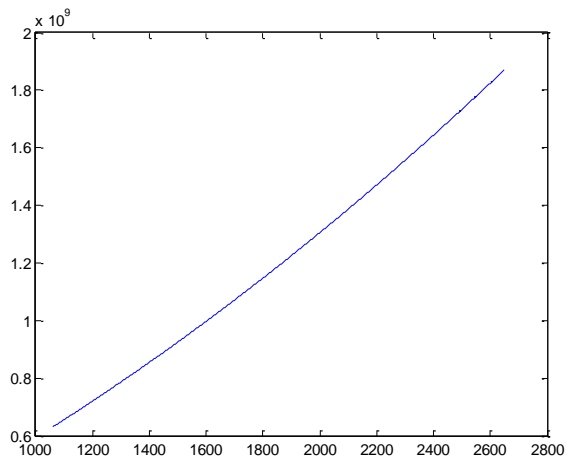
Gambar 29. Kurva *Emission Function* Unit Jawa 1



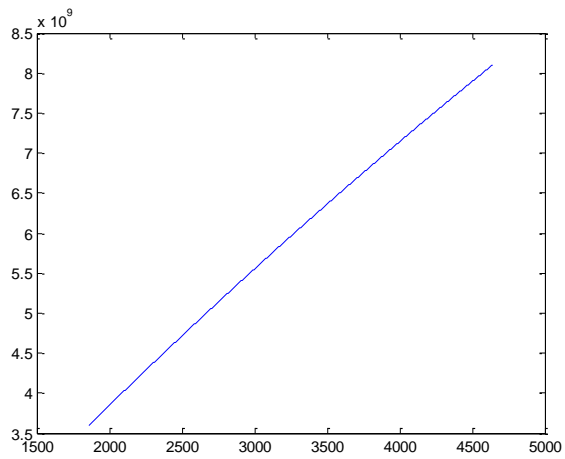
Gambar 30. Kurva *Emission Function* Unit Cirebon



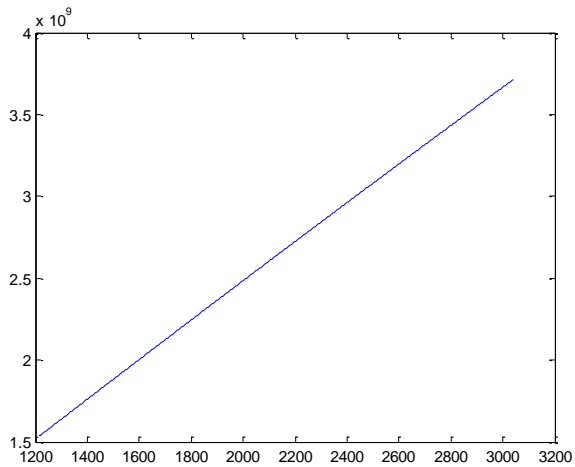
Gambar 31. Kurva *Emission Function* Unit Jateng



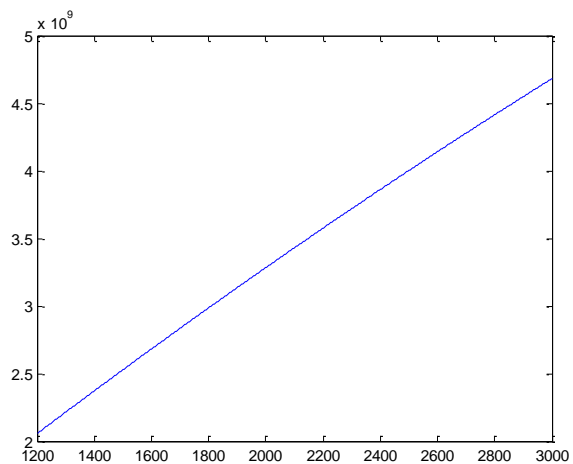
Gambar 32. Kurva *Emission Function* Unit Indramayu



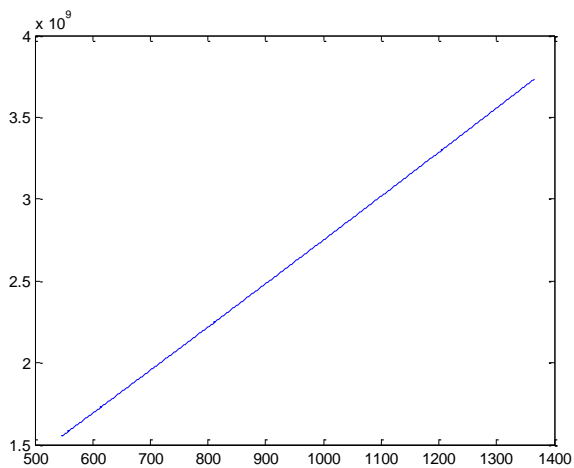
Gambar 33. Kurva *Emission Function* Unit Tanjung Jati



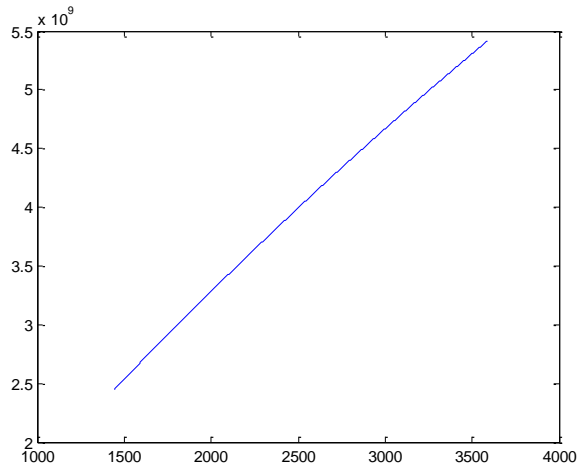
Gambar 34. Kurva *Emission Function* Unit Gresik



Gambar 35. Kurva *Emission Function* Unit Tanjung Pucut



Gambar 36. Kurva *Emission Function* Unit Grati



Gambar 37. Kurva *Emission Function* Unit Cilacap

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

BAB 5

PENUTUP

Dalam bab ini disajikan beberapa kesimpulan dari tugas akhir ini beserta saran untuk kelengkapan dan kelanjutan penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan analisis yang dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa :

1. Besar biaya pembangkitan tergantung pada *cost function* dan *emission function*.
2. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa faktor pembobotan berpengaruh kepada biaya pembangkitan. Jika faktor pembobotan lebih diprioritaskan pada faktor ekonomis, maka biaya pembangkitan akan murah, namun memiliki nilai emisi yang tinggi, begitu pula sebaliknya.
3. Faktor pembobotan memiliki nilai mulai dari 0 sampai dengan 1. Jika nilai pembobotan ditentukan 1 dan 0, maka dapat dikatakan bahwa faktor ekonomis lebih diutamakan. Jika pembobotan ditentukan 0 dan 1, maka dapat dikatakan bahwa faktor emisi lebih diutamakan. Pada Hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat terlihat bahwa nilai pembobotan yang paling efektif untuk faktor ekonomis dan faktor emisi adalah ditentukan dengan nilai 0.5 dan 0.5, hal ini menandakan bahwa faktor ekonomis dan emisi sama-sama diprioritaskan.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk perkembangan penelitian selanjutnya adalah:

1. Dapat ditambahkan *constraint* yang lebih kompleks seperti kerugian transmisi, *valve point loading effect* dan lainnya.
2. Dapat ditambahkan metode pengaturan adaptif untuk SF pada *modified artificial bee colony algorithm* agar nilai SF dapat berubah sesuai dengan kebutuhan dan dapat mencapai hasil yang lebih optimal.

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hadi Saadat, "Power System Analysis," WCB McGraw-Hil, New York, 1999.
- [2] Allen J. Wood and Bruce F, Wollenberg. "Power Generation, Operation and Kontrol". John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [3] Danaraj, R.M.S. dan Gajendran, F., "*Q*uadratic Programming Solution to Emission and Economic Dispatch Problems," Journal of the Indian Institute of Engineers (India), vol.86, pp.129–132, September 2005.
- [4] Devi, A.L. dan Krishna, O.V., "*Combined Economic and Emission Dispatch Using Evolutionary Algorithms – A Case Study*," ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences," vol.3 no.6, pp.28-35, Desember 2008.
- [5] Noman N, Iba H. Differential evolution for economic load dispatch problems. Electr Power Syst Res 2008;78(3):1322–31.
- [6] Karaboga D, Akay B. A comparative study of artificial bee colony algorithm. Appl Math Comput 2009;214(1):108–32.
- [7] Karaboga D, Basturk B. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. J Global Optim 2007;39(3):459–71.
- [8] Karaboga D, Akay B. A modified Artificial Bee Colony (ABC) algorithm for constrained optimization problems. Appl Soft Comput 2011;11(3): 3021–31.
- [9] B Akay, D Karaboga. A Modified Artificial Bee Colony Algorithm for Real-Parameter Optimization. *Information Sciences*. 2012; 192; 120-142.
- [10] Gao WF, Liu SY, Huang LL. A global best artificial bee colony algorithm for global optimization. J Comput Appl Math 2012;236(11):2741–53.

--Halaman ini sengaja dikosongkan--

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Dio Adya Pratama lahir di Surabaya, Jawa Timur pada tanggal 8 Juli 1993. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Kranggan IV Mojokerto tahun 1999-2005, SMPN 1 Mojokerto tahun 2005-2008, SMAN 1 Puri Mojokerto pada tahun 2008-2011. Kuliah diploma di ITS dan lulus pada tahun 2014, kemudian dilanjutkan dengan kuliah sarjana setelah lulus dari pendidikan diploma. Penulis adalah orang yang ramah dan suka bercanda. Selama menjadi mahasiswa, tidak sedikit kegiatan yang diikuti, mulai dari mengikuti pelatihan pengembangan diri sampai dengan kegiatan *open recruitment*.

e-mail: dioadyapratama@gmail.com